



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

---

# DESENVOLUPAMENT I OPTIMITZACIÓ DE MODEL DE GAS COOLER PER CO<sub>2</sub> PER APLICACIONS DE REFRIGERACIÓ

---

## ANNEX

Pau Balat Garcia

Director: Professor Asensio Oliva

Co-director: Professor Carles Oliet

Màster Universitari en Enginyeria Industrial

30 DE SETEMBRE DE 2019

## Taula de continguts

1.	Codi .....	2
1.1.	Codi principal amb $\epsilon$ -NTU .....	2
1.2.	Codi principal amb LMTD .....	8
1.3.	Funció constant de temps .....	11
1.4.	Funció per trobar límits de VC variables .....	12
2.	Gràfics i resultats .....	13
2.1.	Diagrames de temperatura amb resistència elèctrica .....	14
2.2.	Diagrama calor específica i coeficient de transferència de calor de convecció del CO <sub>2</sub> .....	19
2.3.	Diagrama de la calor específica i conductivitat tèrmica del CO <sub>2</sub> .....	24
2.4.	Diagrama de la temperatura i coeficient de transferència de calor per convecció del CO <sub>2</sub> .....	29
2.5.	Diagrama de la temperatura i la calor específica del CO <sub>2</sub> .....	34
2.6.	Diagrama de la temperatura i densitat del CO <sub>2</sub> .....	39
2.7.	Diagrama de la temperatura i conductivitat tèrmica del CO <sub>2</sub> .....	44
2.8.	Diagrama de la temperatura i la viscositat tèrmica del CO <sub>2</sub> .....	49

# 1. Codi

En aquest apartat de l'annex s'adjunten les funcions més importants desenvolupades en Matlab. Durant el desenvolupament de l'estudi s'han utilitzat varis codis i a continuació es mostren els més rellevants.

## 1.1. Codi principal amb $\varepsilon$ -NTU

Les següents línies de codi són el codi del model optimitzat. Es defineixen 3 volums de control i posteriorment es llegeixen com a dades d'entrada diferents casos que tenen les seves condicions inicials en un llistat d'Excel. A més, al final de forma comentada %, hi ha exemples de representacions gràfiques de dades de sortida.

```
addpath('C:\Users\Miquel Balat\Desktop\PAU\master\CoolProp\main')
clear; close all; clc;
%input data
di=0.00472; do=0.00635; de=0.015748; L=12.9; %m
n=3; %VC
m=10; %run data points
filename='data_pitla';
Tcin=xlsread(filename,'K7:K16'); Twin=xlsread(filename,'N7:N16'); %°C
Pcin=xlsread(filename,'L7:L16'); %Mpa
Pwi(1)=3;
mc=xlsread(filename,'M7:M16'); mw=xlsread(filename,'O7:O16'); %kg/s
WH=xlsread(filename,'Q7:Q16')*1000; %heater W
%WH=0;
nh=12; %VC heater location (aprox entre 3.5-3.8m) ex. n=10-nh=4, n=40-
nh=12, n=70-nh=20, n=90-nh=25
%hipòtesis de factor d'embrutament R=0
lambda=150; %W/mK del bescanviador
% propietats ct aigua
% row=1000; %kg/m3
% cpw=4180; %J/kgK
% muw=0.0006; %Pa·s
% lambdaw=0.66; %W/mK
Sc=pi*di^2/4;
Sw=pi*(de^2-do^2)/4;
Perc=pi*di;
Perw=pi*do+pi*de;
Dhw=4*Sw/Perw;
Dhc=di;

%Met numèric
p=0.0001; %precisió
ITEMAX=1000;
FR1=0.7;
FR2=0.8;

%discretització
Li=L/n; %longitud de cada VC
for j=1:m
for i=1:n
x(j,i)=Li/2+Li*(i-1);
end
```

```

end
%superficies transferencia calor
Ac=pi*di*Li;
Aw=pi*do*Li;

%no es consideren pèrdues de càrrega
for i=1:m
Pc(i)=Pcin(i)*10^6;
end
Pw=Pwi(1)*10^6;

for i=1:m
Tci(i,1)=Tcin(i);
end

Twoini=40;
mr=(Twin-Twoini)/L;
nr=Twoini;

for j=1:m
for i=1:n
xr(j,i)=Li*(i-1);
Twi(j,i)=mr(j)*xr(j,i)+nr;
end
end

%inicialització propietats aigua
for j=1:m
for i=1:n
cpw(j,i)=4180;
end
end

for j=1:m

for iteracioglobal=1:ITEMAX

    Twiite=Twi;

for i=1:n
%Inicialització
Tco(j,i)=Tci(j,i)-5;
hco(j,i)=CoolProp.PropsSI('H','P', Pc(j), 'T', Tco(j,i)+273.15,
'CO2');
hci(j,i)=CoolProp.PropsSI('H','P', Pc(j), 'T', Tci(j,i)+273.15,
'CO2'); %J/kg
Q(j,i)= mc(j)*(hci(j,i)-hco(j,i));
Two(j,i) = Twi(j,i)+Q(j,i)/(mw(j)*cpw(j,i));

for iteracio=1:ITEMAX
    Tcoite(j,i)=Tco(j,i);

    %Càlcul de propietats
    Tcmean(j,i)=(Tci(j,i)+Tco(j,i))/2;
    Twmean(j,i)=(Twi(j,i)+Two(j,i))/2;
    TwmeanK(j,i)=Twmean(j,i)+273.15;

```

```

row(j,i)=847.2+1.298*TwmeanK(j,i)-2.657*(10^-3)*(TwmeanK(j,i))^2;
%kg/m3
cpw(j,i)=5648.8-9.140*TwmeanK(j,i)+14.21*(10^-3)*(TwmeanK(j,i))^2;
%J/kgK
lambdaw(j,i)=-0.722+7.168*(10^-3)*TwmeanK(j,i)-9.137*(10^-
6)*(TwmeanK(j,i))^2; %W/mK
muw(j,i)=exp(7.867-0.077*TwmeanK(j,i)+9.04*(10^-
5)*(TwmeanK(j,i))^2); %kg/ms
vw=mw(j)/(row(j,i)*Sw);

Rew(j,i)=row(j,i)*vw*Dhw/muw(j,i);
Prw(j,i)=muw(j,i)*cpw(j,i)/lambdaw(j,i);
fw(j,i)=(0.79*log(Rew(j,i))-1.64)^(-2);
Nuw(j,i)=fw(j,i)/8*(Rew(j,i)-
1000)*Prw(j,i)/(12.7*sqrt(fw(j,i)/8)*(Prw(j,i)^(2/3)-1)+1.07);
alphaw(j,i)=Nuw(j,i)*lambdaw(j,i)/Dhw;

Rw=1/(alphaw(j,i)*Aw);
Rwall=log(do/di)/(2*pi*lambda*Li);

Twwall=(Q(j,i)*Rw)+Twmean(j,i);
Tcwall=(Q(j,i)*Rwall)+Twwall;
Twall(j,i)=(Twwall+Tcwall)/2;

roc(j,i)=CoolProp.PropsSI('D','P',Pc(j),'T', Tcmean(j,i)+273.15,
'CO2');
muc(j,i)=CoolProp.PropsSI('viscosity','P',Pc(j),'T',
Tcmean(j,i)+273.15, 'CO2');
lambdac(j,i)=CoolProp.PropsSI('conductivity','P',Pc(j),'T',
Tcmean(j,i)+273.15, 'CO2');
cpc(j,i)=CoolProp.PropsSI('CPMASS','P',Pc(j),'T',
Tcmean(j,i)+273.15, 'CO2');
rocwall(j,i)=CoolProp.PropsSI('D','P',Pc(j),'T', Tcwall+273.15,
'CO2');
mucwall(j,i)=CoolProp.PropsSI('viscosity','P',Pc(j),'T',
Tcwall+273.15, 'CO2');
lambdacwall(j,i)=CoolProp.PropsSI('conductivity','P',Pc(j),'T',
Tcwall+273.15, 'CO2');
cpcwall(j,i)=CoolProp.PropsSI('CPMASS','P',Pc(j),'T',
Tcwall+273.15, 'CO2');

% càlcul velocitats: (hip de no pèrdua de pressió, punt de vista
tèrmic)
vc(j,i)=mc(j)/(roc(j,i)*Sc);

Recb(j,i)=roc(j,i)*vc(j,i)*Dhc/muc(j,i);
Recwall(j,i)=rocwall(j,i)*vc(j,i)*Dhc/mucwall(j,i);

Prwb(j,i)=muc(j,i)*cpc(j,i)/lambdac(j,i);
Prwall(j,i)=mucwall(j,i)*cpcwall(j,i)/lambdacwall(j,i);

fcb(j,i)=(0.79*log(Recb(j,i))-1.64)^(-2);
fcwall(j,i)=(0.79*log(Recwall(j,i))-1.64)^(-2);

Nucb(j,i)=fcb(j,i)/8*(Recb(j,i)-
1000)*Prwb(j,i)/(12.7*sqrt(fcb(j,i)/8)*(Prwb(j,i)^(2/3)-1)+1.07);
Nucwall(j,i)=fcwall(j,i)/8*(Recwall(j,i)-
1000)*Prwall(j,i)/(12.7*sqrt(fcwall(j,i)/8)*(Prwall(j,i)^(2/3)-
1)+1.07);
Nuc(j,i)=(Nucb(j,i)+Nucwall(j,i))/2*lambdacwall(j,i)/lambdac(j,i);

```

```

    alphac(j,i)=Nuc(j,i)*lambdac(j,i)/Dhc;

    UA(j,i) =
    (1/(alphac(j,i)*Ac)+log(do/di)/(2*pi*lambda*Li)+1/(alphaw(j,i)*Aw))^(-
    1;

    Cc(j,i)=mc(j)*cpc(j,i);
    Cw(j,i)=mw(j)*cpw(j,i);

    if Cc(j,i)>Cw(j,i)
        Cmin = Cw(j,i);
        Cmax=Cc(j,i);
    else
        Cmin=Cc(j,i);
        Cmax=Cw(j,i);
    end

    NTU = UA(j,i)/Cmin;
    Z=Cmin/Cmax;
    eps(j,i)=(1-exp(-(NTU*(1-Z))))/(1-Z*exp(-(NTU*(1-Z))));
    Q(j,i)=eps(j,i)*Cmin*(Tci(j,i)-Twi(j,i));

    Two(j,i)=Twi(j,i) + Q(j,i)/Cw(j,i);
    hco(j,i)=hci(j,i)-Q(j,i)/mc(j);
    %Tco(j,i)=Tci(j,i)-Q(j,i)/Cc(j,i);

    Tco(j,i)=CoolProp.PropsSI('T','P', Pc(j), 'H', hco(j,i), 'CO2');
    Tco(j,i)=Tco(j,i)-273.15;

    error = abs(Tco(j,i)-Tcoite(j,i));

    if error < p
        break;
    end

    Tco(j,i)=Tcoite(j,i)+FR1*(Tco(j,i)-Tcoite(j,i)); %factor de
    relaxació
    hco(j,i)=CoolProp.PropsSI('H','P', Pc(j), 'T', Tco(j,i)+273.15,
    'CO2');
    Q(j,i)= mc(j)*(hci(j,i)-hco(j,i));

end

if iteracio==ITEMAX
    disp('Valor iteracions max assolit')
end

Tci(j,i+1)=Tco(j,i);

end

for i=1:n
    if i==nh
        Twi(j,i)=WH(j)/(mw(j)*cpw(j,i))+Two(j,i+1);
    elseif i==n
        Twi(j,i)=Twin(j);
    else

```

```

        Twi(j,i)=Two(j,i+1);
        %Twi(j,i)=Twiite(j,i)+FR2*(Two(i+1)-Twiite(j,i));
    end
end

Qtot(j)=sum(Q(j,:));
error2 = abs(max(Twi(j,:)-Twiite(j,:)));

if error2 < p
    break;
end

end

if iteracioglobal==ITEMAX
    disp ('Valor iteracions max assolit')
end

end

%Qtot

%figure
%plot(x,Tcmean,x,Twmean,x,Twall)
%xlabel('x [m]')
%ylabel('T [°C]')
%legend ('T CO2', 'T water','T wall')

%for i=1:10
    %figure
    %
    plot(x(i,:),Tcmean(i,:),x(i,:),Twmean(i,:),x(i,:),Twall(i,:),x(i,:),cp
    c(i,:))
        %xlabel('x [m]')
        % ylabel('T [°C]')
        %legend ('T CO2', 'T water','T wall')
    %end

%figure
%plot(Q,Tcmean,Q,Twmean)
%xlabel('Q [W]')
%ylabel('T [°C]')

%figure
%plot (x, cpc)
%xlabel('x [m]')
%ylabel('Cp CO2 [J/kgK]')

%figure
%plot (x, alphac)
%xlabel('x [m]')
%ylabel('coeficient convecció [W/Km2]')

%figure
%plot (x, Q)
%xlabel('x [m]')
%ylabel('Q [W]')

```

```

%per 10.797MPa
%Tt=30:100;
%for i=1:71
    %Cpp(j,i)=CoolProp.PropsSI('CPMASS','P', 10.797*10^6, 'T',
Tt(j,i)+273.15, 'CO2');
%end
%figure
%plot (Tt,Cpp)
%xlabel('T [°C]')
%ylabel('Cp CO2 [J/kgK]')

% figure
%
plot(x(1,:),cpc(1,:),x(2,:),cpc(2,:),x(3,:),cpc(3,:),x(4,:),cpc(4,:),x
(5,:),cpc(5,:),x(6,:),cpc(6,:),x(7,:),cpc(7,:),x(8,:),cpc(8,:),x(9,:),
cpc(9,:),x(10,:),cpc(10,:))
% xlabel('x [m]')
% ylabel('cp CO2 [J/kgK]')
% legend ('run1',
'run2','run3','run4','run5','run6','run7','run8','run9','run10')
%
% for i=1:10
%     figure
%         yyaxis left
%         plot(x(i,:),Tcmean(i,:))
%
%plot(x(i,:),Tcmean(i,:),x(i,:),Twmean(i,:),x(i,:),Twall(i,:),x(i,:))
%     yyaxis right
%     plot(x(i,:),cpc(i,:))
%     xlabel('x [m]')
%     yyaxis left
%     ylabel('T [°C]')
%     yyaxis right
%     ylabel('cp CO2 [J/kgK]')
%     legend ('T CO2', 'cp CO2')
%     title(['run ', num2str(i)])
% end

% for i=1:10
%     figure
%         yyaxis left
%         plot(x(i,:),Tcmean(i,:))
%
%plot(x(i,:),Tcmean(i,:),x(i,:),Twmean(i,:),x(i,:),Twall(i,:),x(i,:))
%     yyaxis right
%     plot(x(i,:),alphac(i,:))
%     xlabel('x [m]')
%     yyaxis left
%     ylabel('T [°C]')
%     yyaxis right
%     ylabel('Coeficient convecció CO2 [W/m2K]')
%     legend ('T CO2', 'cp CO2')
%     title(['run ', num2str(i)])
%     filepath = 'C:\Users\Miquel
Balat\Desktop\PAU\master\TFM\gràfiques\resultats\T(x) alpha(x)';
%     filename = ['run ',num2str(i),' T(x) alpha(x)'];
%     saveas(gca, fullfile(filepath, filename), 'jpeg');
% end

```



## 1.2. Codi principal amb LMTD

En aquest apartat s'adjunten les línies de codi Matlab desenvolupades per l'opció de model bastat en la LMTD.

```
addpath('C:\Users\Miquel Balat\Desktop\PAU\master\CoolProp\main')
clear; close all; clc;
%input data
di=0.00472; do=0.00635; de=0.015748; L=12.9; %m

n=10; %VC
m=10; %run data points
filename='data_pitla';
Tcin=xlsread(filename,'K7:K16'); Twin=xlsread(filename,'N7:N16'); %°C
Pcin=xlsread(filename,'L7:L16'); %Mpa
Pwi(1)=3;
mc=xlsread(filename,'M7:M16'); mw=xlsread(filename,'O7:O16'); %kg/s
% WH=xlsread(filename,'Q7:Q16')*1000; %W heater
WH=0;
nh=12; %VC heater location resistencia (aprox entre 3.5-3.8m) ex.
n=10-nh=4, n=40-nh=12, n=70-nh=20, n=90-nh=25
%hipòtesis de factor d'embrutament R=0
lambda=150; %W/mK material del bescanviador

%propietats ct aigua
row=1000; %kg/m3
cpw=4180; %J/kgK
muw=0.0006; %Pa·s
lambdaw=0.66; %W/mK

Sc=pi*di^2/4;
Sw=pi*(de^2-do^2)/4;
Perc=pi*di;
Perw=pi*do+pi*de;
Dhw=4*Sw/Perw;
Dhc=di;

%Met numèric
p=0.0001; %precisió
ITEMAX=1000;
FR=0.7;

%discretització
Li=L/n; %longitud de cada VC
for j=1:m
for i=1:n
x(j,i)=Li/2+Li*(i-1);
end
end
%superfícies transferència calor
Ac=pi*di*Li;
Aw=pi*do*Li;

%no es consideren pèrdues de càrrega
for i=1:m
Pc(i)=Pcin(i)*10^6;
end
Pw=Pwi(1)*10^6;
```

```

for i=1:m
Qmax(i)=mw(i)*cpw*(Tcin(i)-Twin(i));
Qite(i)=Qmax(i);
Tci(i,1)=Tcin(i);
end

for j=1:m
for iteracioglobal=1:ITEMAX

    Two(j,1)=Twin(j)+Qite(j)/(mw(j)*cpw);

for i=1:n

%Inicialització
Tco(j,i)=Tci(j,i)-5;

for iteracio=1:ITEMAX
    Tcoite(j,i)=Tco(j,i);

    %càlcul entalpies CO2:
    hci(j,i)=CoolProp.PropsSI('H','P', Pc(j), 'T', Tci(j,i)+273.15,
'CO2'); %J/kg
    hco(j,i)=CoolProp.PropsSI('H','P', Pc(j), 'T', Tco(j,i)+273.15,
'CO2');

    %Càlcul Tw sortida del VC
    Twi(j,i) = Two(j,i)-mc(j)*(hci(j,i)-hco(j,i))/(mw(j)*cpw);
    Qi(j)= mc(j)*(hci(j,i)-hco(j,i));

    %Càlcul de propietats
    Tcmean(j,i)=(Tci(j,i)+Tco(j,i))/2;
    Twmean(j,i)=(Twi(j,i)+Two(j,i))/2;
    vw(j)=mw(j)/(row*Sw);

    Rew=row*vw(j)*Dhw/muw;
    Prw=muw*cpw/lambdaw;
    fw=(0.79*log(Rew)-1.64)^(-2);
    Nuw=fw/8*(Rew-1000)*Prw/(12.7*sqrt(fw/8)*(Prw^(2/3)-1)+1.07);
    alphaw=Nuw*lambdaw/Dhw;

    Rw=1/(alphaw*Aw);
    Rwall=log(do/di)/(2*pi*lambda*Li);

    Twwall=(Qi(j)*Rw)+Twmean(j,i);
    Tcwall=(Qi(j)*Rwall)+Twwall;
    Twall(j,i)=(Twwall+Tcwall)/2;

    roc(j,i)=CoolProp.PropsSI('D','P',Pc(j),'T', Tcmean(j,i)+273.15,
'CO2');
    muc(j,i)=CoolProp.PropsSI('viscosity','P',Pc(j),'T',
Tcmean(j,i)+273.15, 'CO2');
    lambdac(j,i)=CoolProp.PropsSI('conductivity','P',Pc(j),'T',
Tcmean(j,i)+273.15, 'CO2');
    cpc(j,i)=CoolProp.PropsSI('CPMASS','P',Pc(j),'T',
Tcmean(j,i)+273.15, 'CO2');
    rocwall(j,i)=CoolProp.PropsSI('D','P',Pc(j),'T', Tcwall+273.15,
'CO2');

```

```

    mucwall(j,i)=CoolProp.PropsSI('viscosity','P',Pc(j),'T',
Tcwall+273.15, 'CO2');
    lambdacwall(j,i)=CoolProp.PropsSI('conductivity','P',Pc(j),'T',
Tcwall+273.15, 'CO2');
    cpcwall(j,i)=CoolProp.PropsSI('CPMASS','P',Pc(j),'T',
Tcwall+273.15, 'CO2');

    %càlcul velocitats: (hip de no pèrdua de pressió, punt de vista
tèrmic)
    vc(j,i)=mc(j)/(roc(j,i)*Sc);

    Recb(j,i)=roc(j,i)*vc(j,i)*Dhc/muc(j,i);
    Recwall(j,i)=rocwall(j,i)*vc(j,i)*Dhc/mucwall(j,i);

    Prcb(j,i)=muc(j,i)*cpc(j,i)/lambdac(j,i);
    Prcwall(j,i)=mucwall(j,i)*cpcwall(j,i)/lambdacwall(j,i);

    fcb(j,i)=(0.79*log(Recb(j,i))-1.64)^-2;
    fcwall(j,i)=(0.79*log(Recwall(j,i))-1.64)^-2;

    Nucb(j,i)=fcb(j,i)/8*(Recb(j,i)-
1000)*Prcb(j,i)/(12.7*sqrt(fcb(j,i)/8)*(Prcb(j,i)^(2/3)-1)+1.07);
    Nucwall(j,i)=fcwall(j,i)/8*(Recwall(j,i)-
1000)*Prcwall(j,i)/(12.7*sqrt(fcwall(j,i)/8)*(Prcwall(j,i)^(2/3)-
1)+1.07);
    Nuc(j,i)=(Nucb(j,i)+Nucwall(j,i))/2*lambdacwall(j,i)/lambda;

    alphac(j,i)=Nuc(j,i)*lambda/Dhc;

    UA(j,i) =
(1/(alphac(j,i)*Ac)+log(do/di)/(2*pi*lambda*Li)+1/(alphaw*Aw))^-1;

    %Q(i) = UA(i)*(Tcmean(i)-Twmean(i));
    DTLM=((Tci(j,i)-Two(j,i))-(Tco(j,i)-Twi(j,i)))/log(abs((Tci(j,i)-
Two(j,i))/(Tco(j,i)-Twi(j,i))));
    Q(j,i) = UA(j,i)*DTLM;

    hco(j,i)=hci(j,i)-Q(j,i)/mc(j);

    Tco(j,i)=CoolProp.PropsSI('T','P', Pc(j), 'H', hco(j,i), 'CO2');
    Tco(j,i)=Tco(j,i)-273.15;

    error = abs(Tco(j,i)-Tcoite(j,i));

    if error < p
        break;
    end

    Tco(j,i)=Tcoite(j,i)+FR*(Tco(j,i)-Tcoite(j,i)); %factor de
relaxació

    if i==n
        Twi(j,i)=Twin(j);
    end
end

if iteracio==ITEMAX
    disp('Valor iteracions max assolit')

```

```

end

Tci(j,i+1)=Tco(j,i);
Two(j,i+1)=Twl(j,i);

end

Qtot(j)=sum(Q(j,:));

error2 = abs(Qtot(j)-Qite(j));

if error2 < p
    break;
end

Qite(j)=Qite(j)+FR*(Qtot(j)-Qite(j));
end

if iteracioglobal==ITEMAX
    disp ('Valor iteracions global max assolit')
end
end

```

### 1.3. Funció constant de temps

A continuació s'adjunten les línies de codi que s'utilitzen per donar un retard a la resposta del model optimitzat per tenir una primera proposta de transitori.

```

clear; close all; clc;

tau=20.0;
Tco(1)=305.36;
temps=0.0;
t(1)=temps;
Tcof=317.14;

dt=1.0;
final=200.0;

while temps < final
    temps=temps+dt;
    t(temps+1)=temps;
    Tco(temps+1)=(dt*Tcof/tau+Tco(temps))/(1.0+dt/tau);
end

plot(t,Tco);
xlabel('time (s)');
ylabel('Tco (K)');

```

## 1.4. Funció per trobar límits de VC variables

En aquest apartat s'adjunten les línies afegir per trobar els límits dels volums de control segons el mètode explicat durant l'estudi. En codi complet consisteix en la simulació del codi general  $\epsilon$ -NTU per 40 volums de control o més i posteriorment les línies adjuntes per delimitar les fronteres segons la distribució de la calor específica.

```
n=40; %VC
m=10; %run data points
%trobar limits VC variables
fraction=0.3;
%inici
for i=1:m
    mincp(i)=cpc(i,1);
    maxcp(i)=cpc(i,1);
end

for i=1:m
    for j=2:n
        if cpc(i,j)>cpc(i,j-1)
            maxcp(i)=cpc(i,j);
            xmax(i)=x(i,j);
        end
    end
    for j=2:n
        if cpc(i,j)<cpc(i,j-1)
            mincp(i)=cpc(i,j);
            xmin(i)=x(i,j);
        end
    end
end

for i=1:m
    range(i)=maxcp(i)-mincp(i);
    limitcp(i)=fraction*range(i)+mincp(i);
    for j=1:(n-1)
        if limitcp(i)>cpc(i,j) & limitcp(i)<cpc(i,j+1)
            xlimit1(i)=x(i,j);
        end
    end

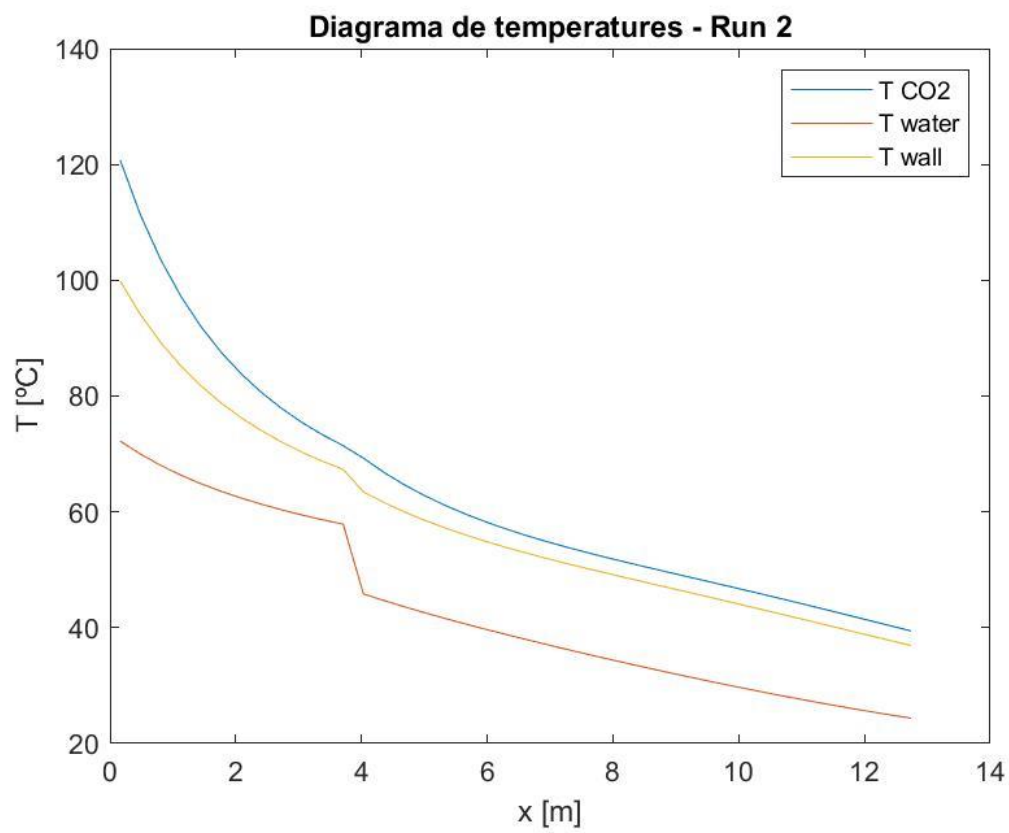
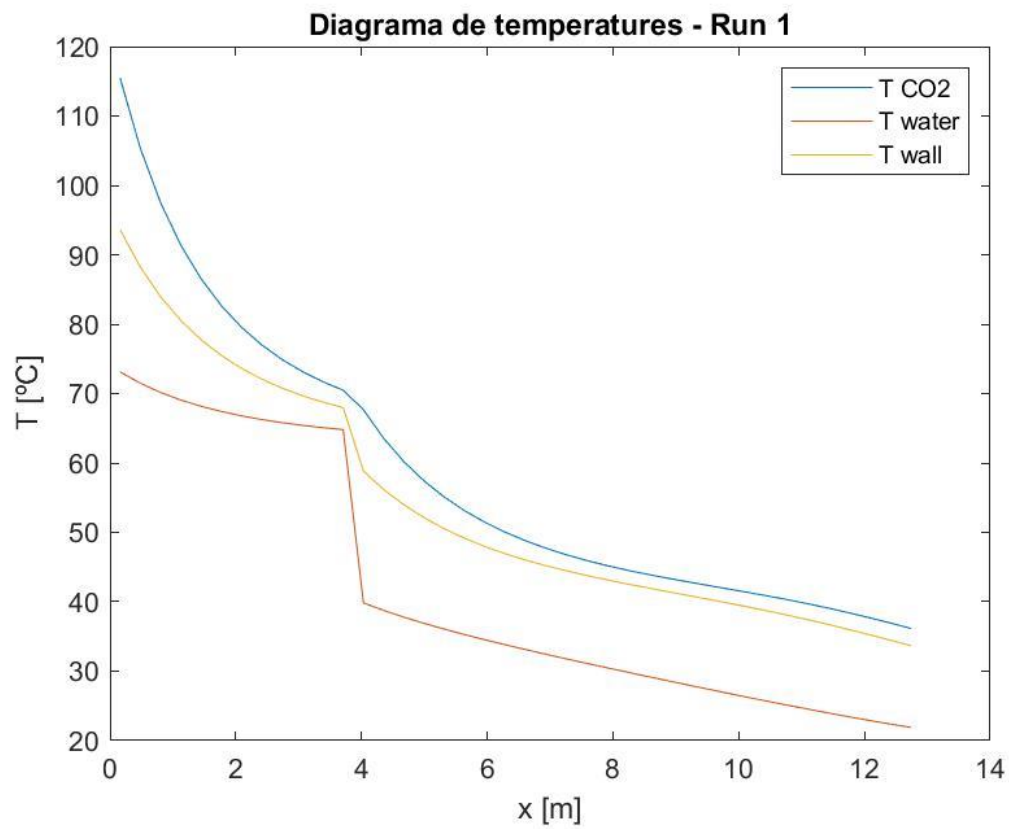
    if xmin(i)==x(i,1)
        rangex(i)=xmax(i)-xlimit1(i);
        xlimit2(i)=xmax(i)+rangex(i);
    end
    if xmin(i)==x(i,n)
        rangex(i)=xlimit1(i)-xmax(i);
        xlimit2(i)=xmax(i)-rangex(i);
    end
end
```

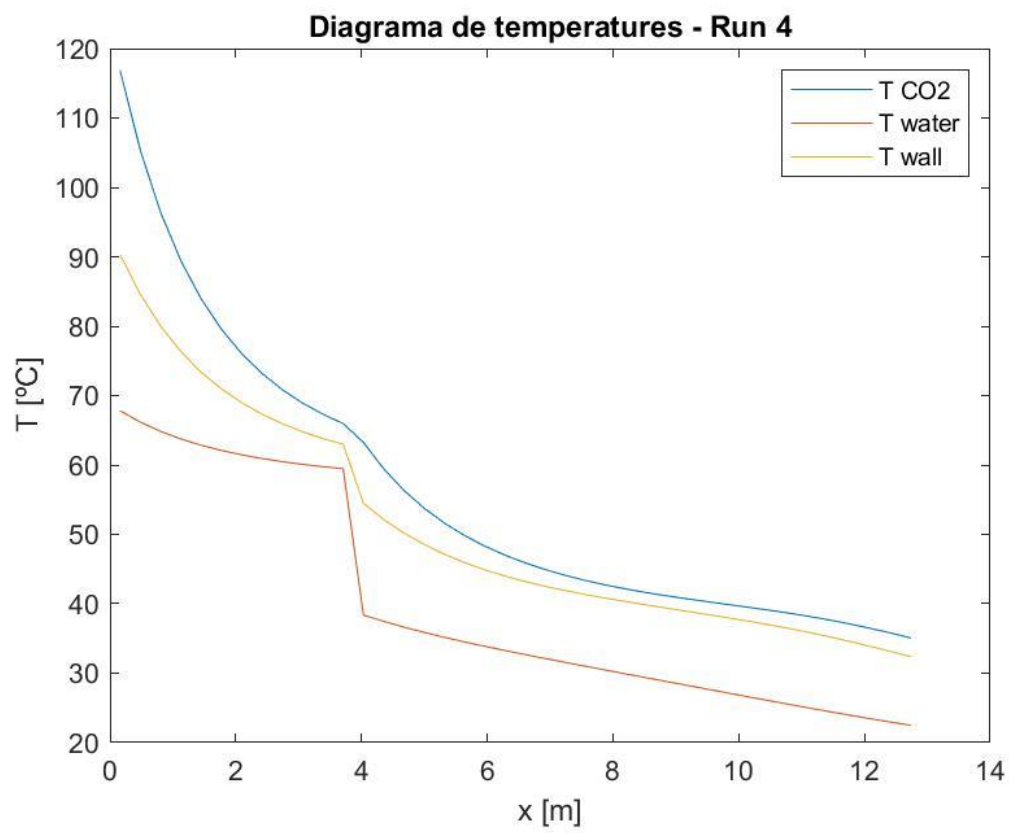
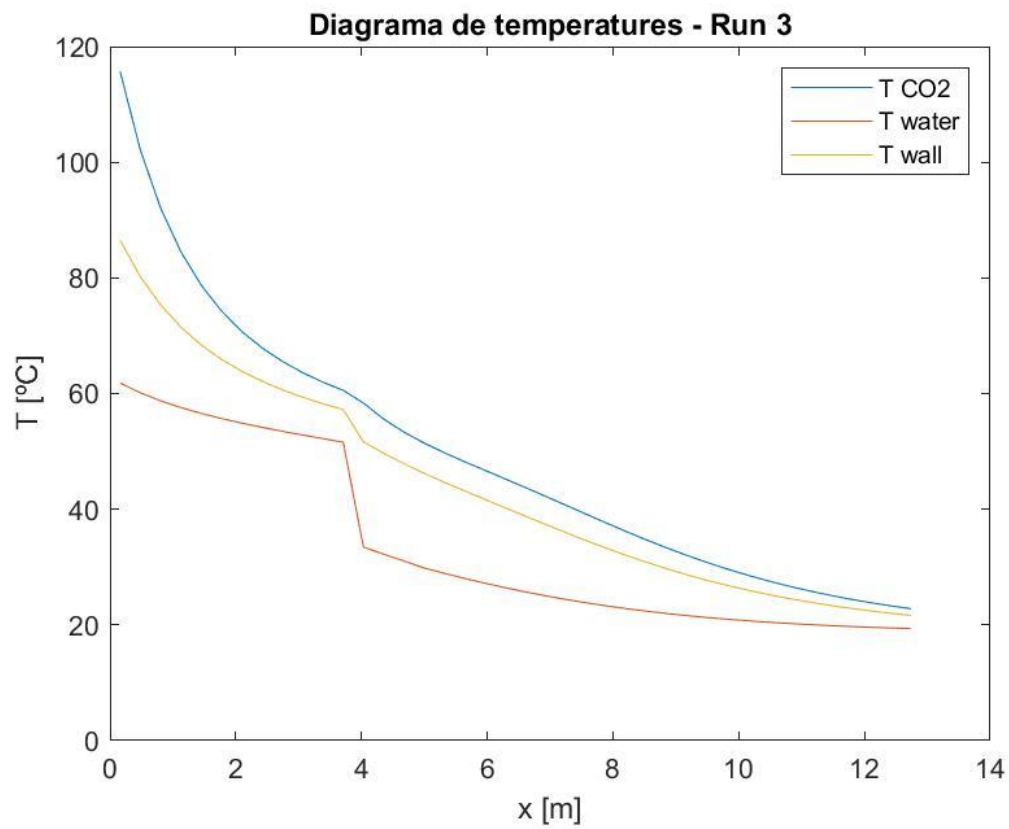
## 2. Gràfics i resultats

En aquest apartat s'adjunten els gràfics obtinguts per tots els casos de la simulació amb el model desenvolupat basat en  $\varepsilon$ -NTU.

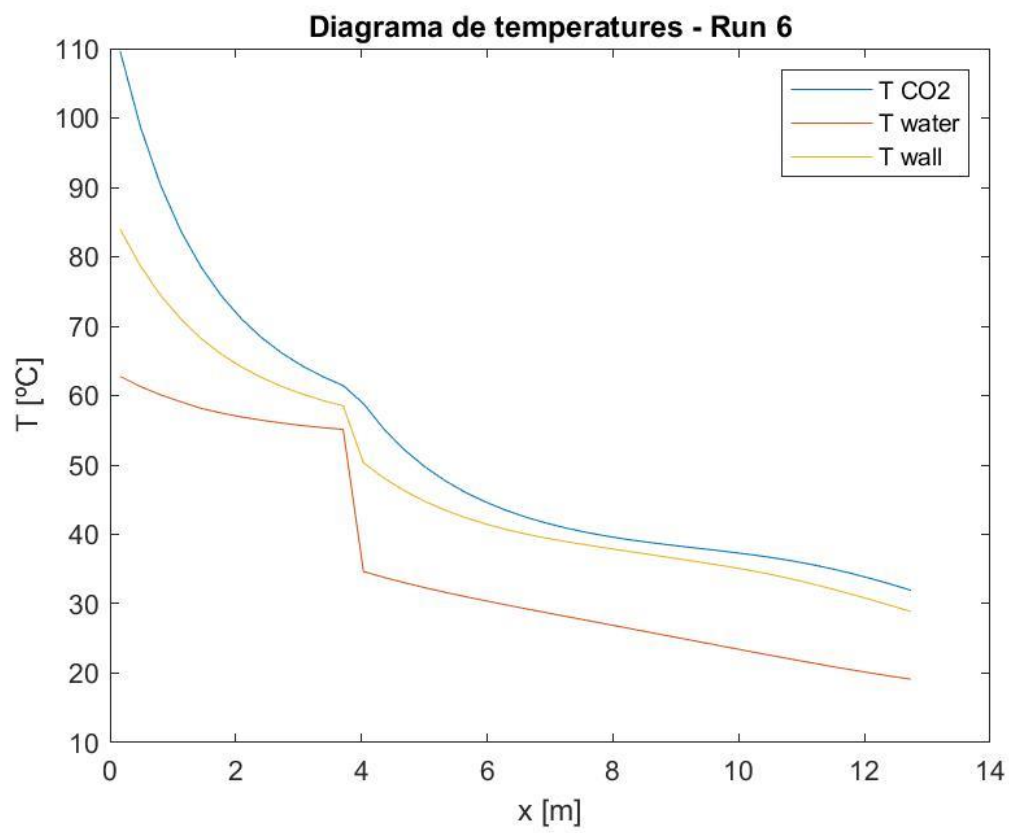
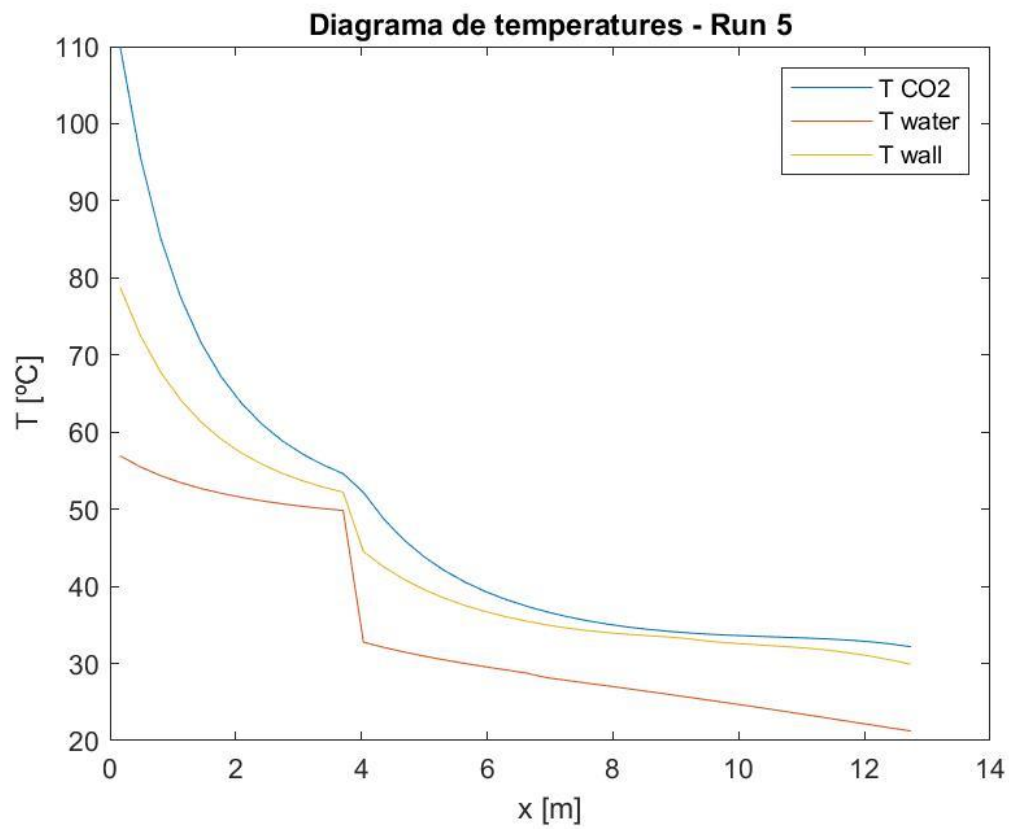
L'apartat 2.1. *Diagrama de temperatures amb resistència elèctrica* són els diagrames obtinguts de la simulació directe dels casos experimentals proposat per Pitla *et al.* [3]. Els següents apartats representen diferents propietats en diagrames i s'han simulat amb el codi ja simulat. De l'apartat 2.2. endavant, els diagrames s'han simulat sense l'aplicació de resistència elèctrica. Aquestes simulacions són utilitzades per entendre millor el comportament del CO<sub>2</sub> durant el procés d'intercanvi de calor en el Gas Cooler i per l'optimització del model. Aquestes simulacions segueixen tenint les mateixes condicions d'entrada que els casos d'en Pitla *et al.* [3].

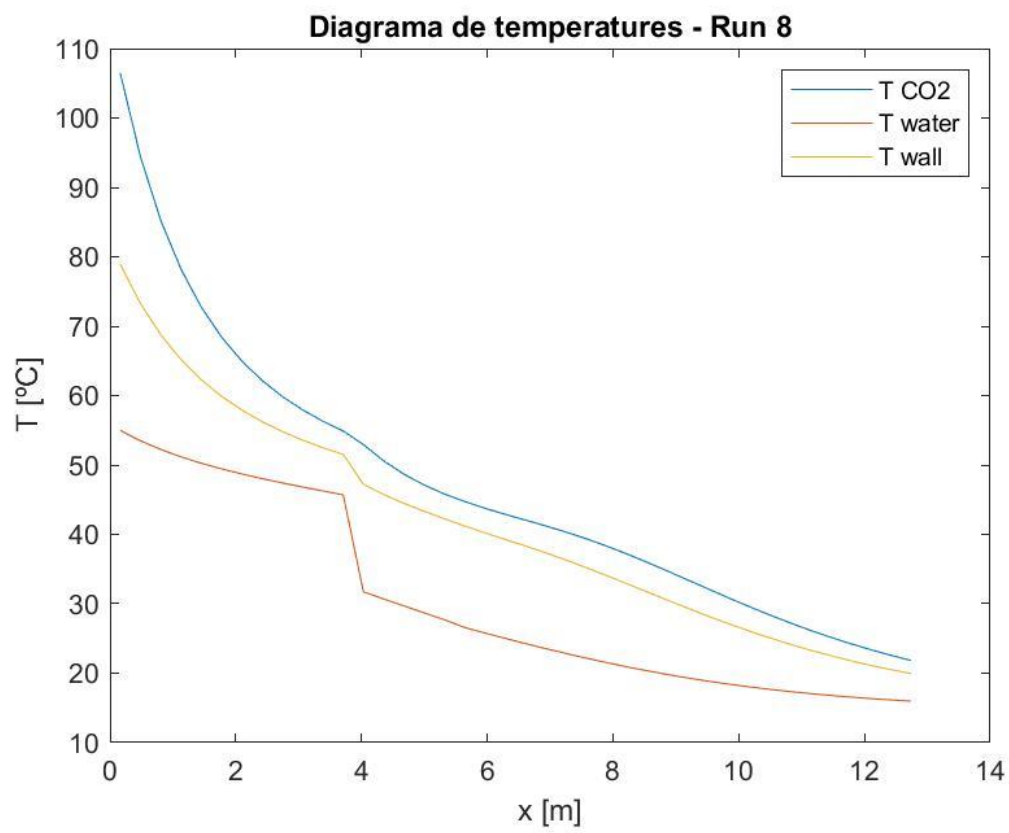
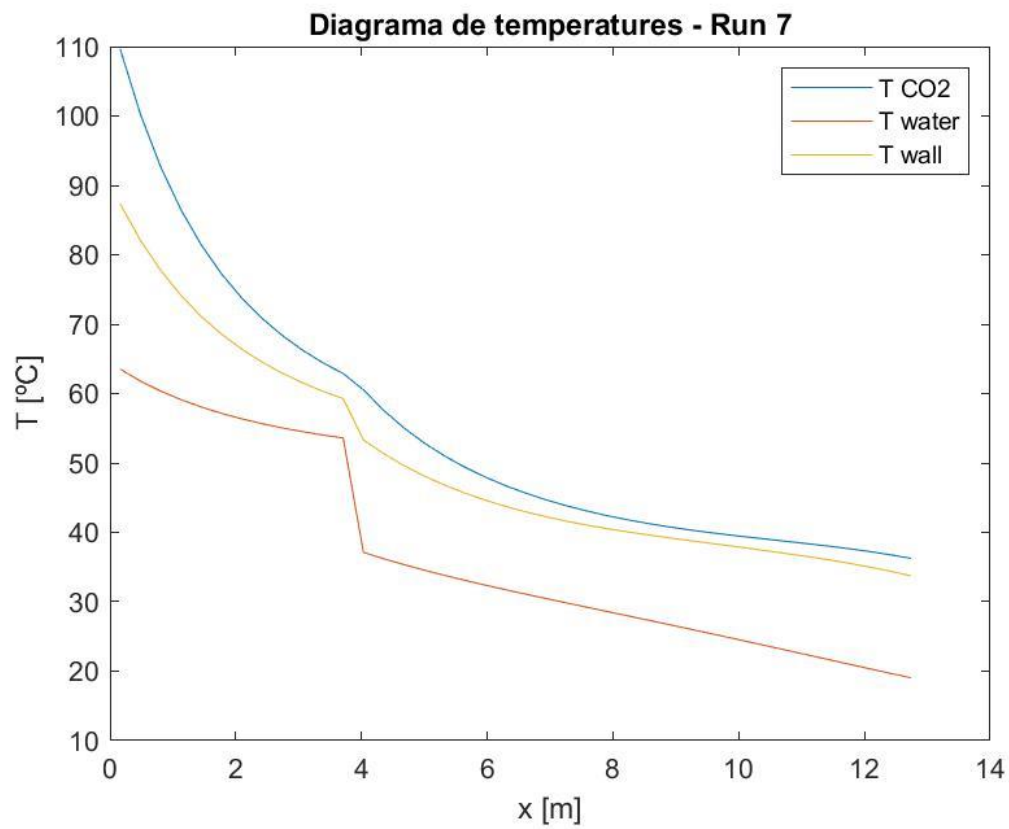
## 2.1. Diagrames de temperatura amb resistència elèctrica

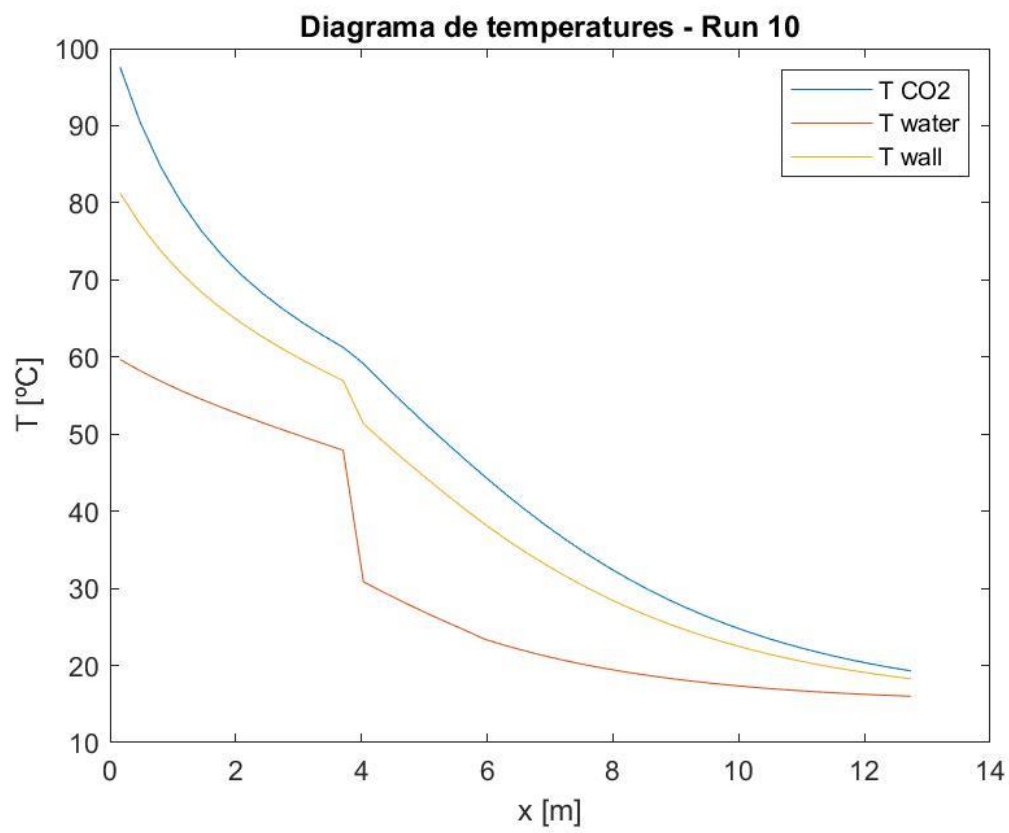
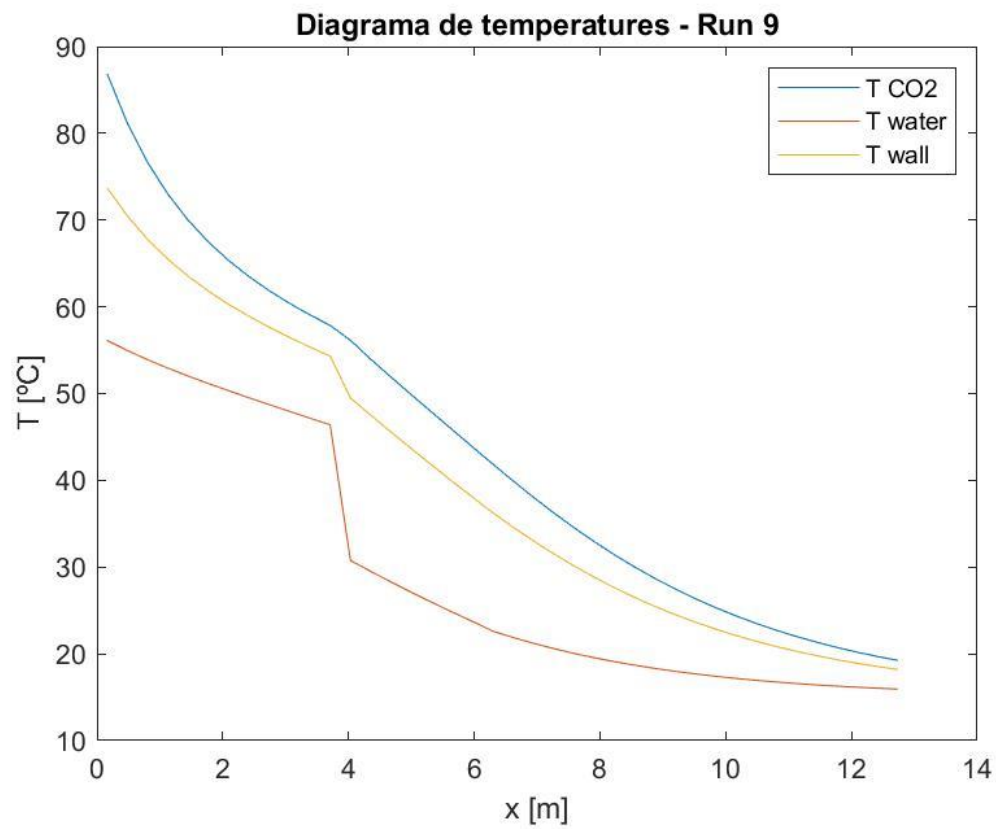




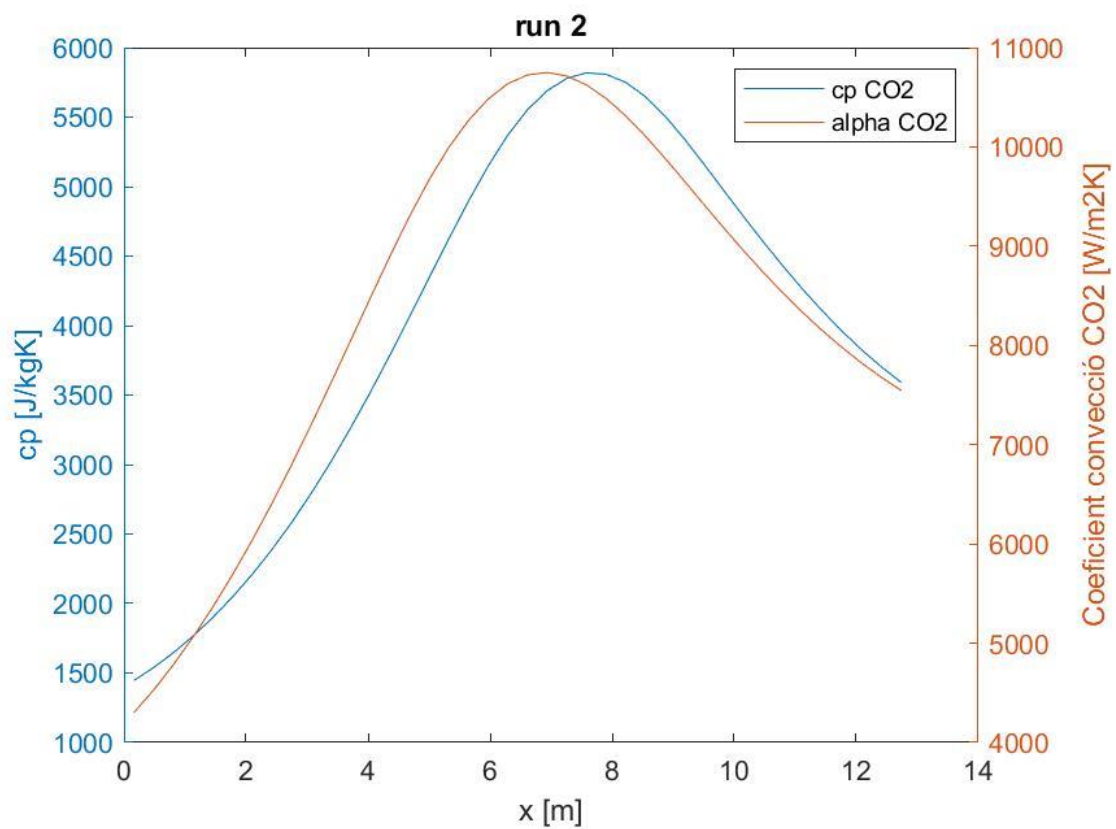
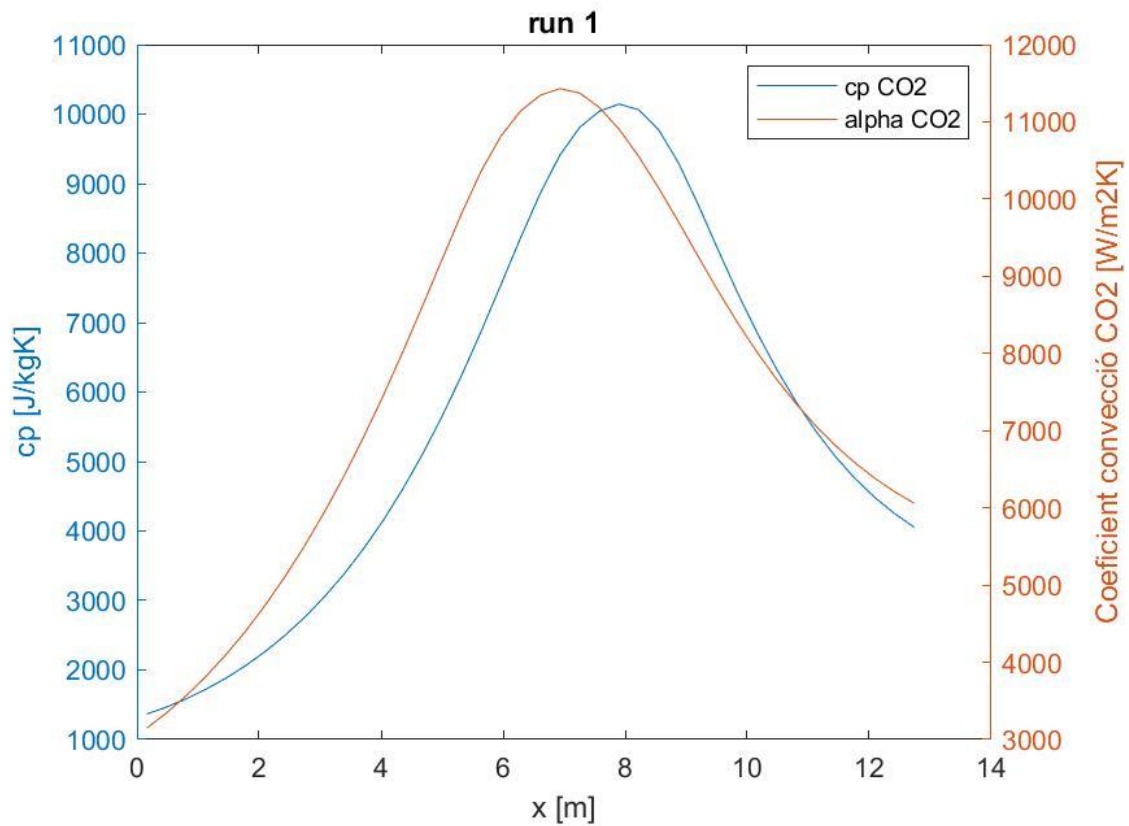


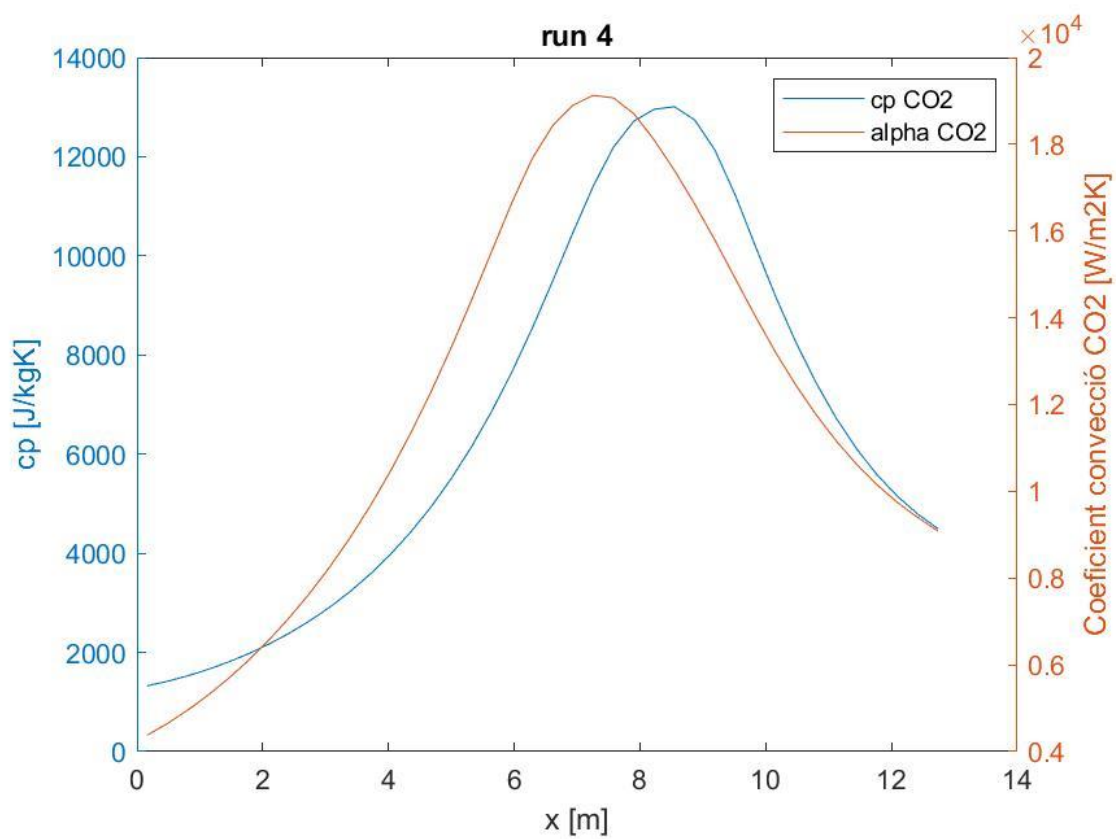
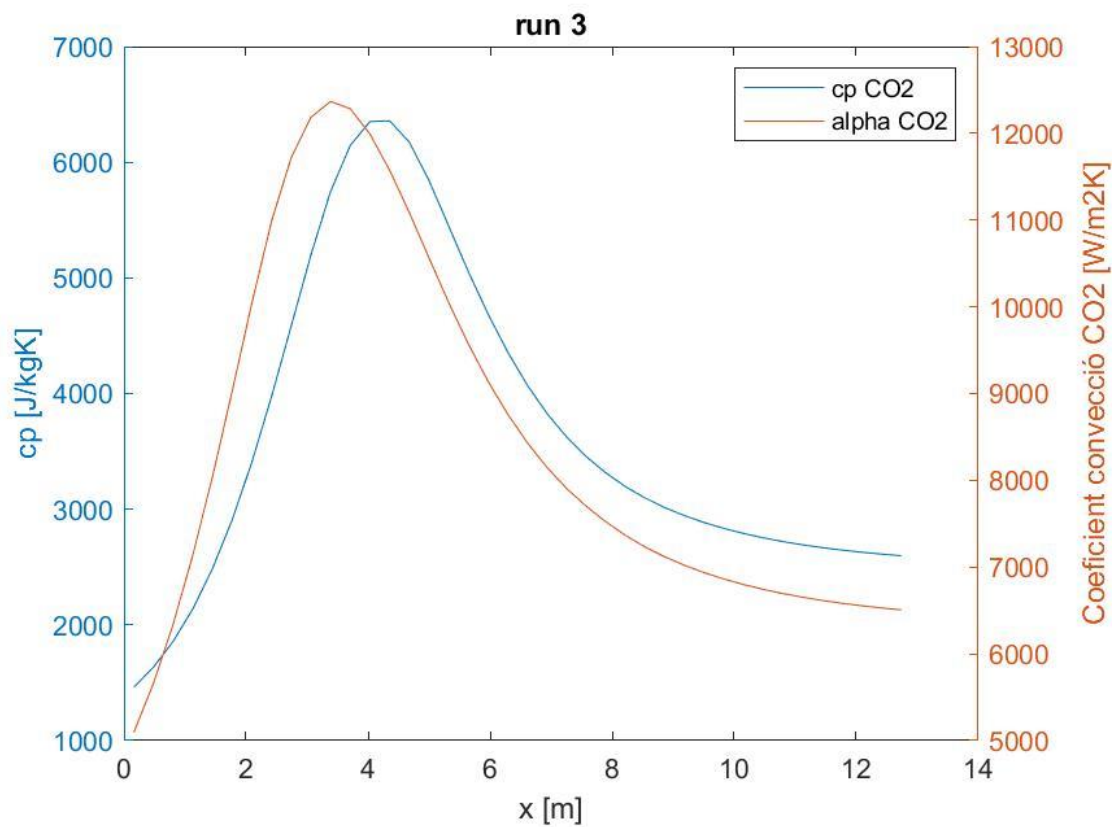


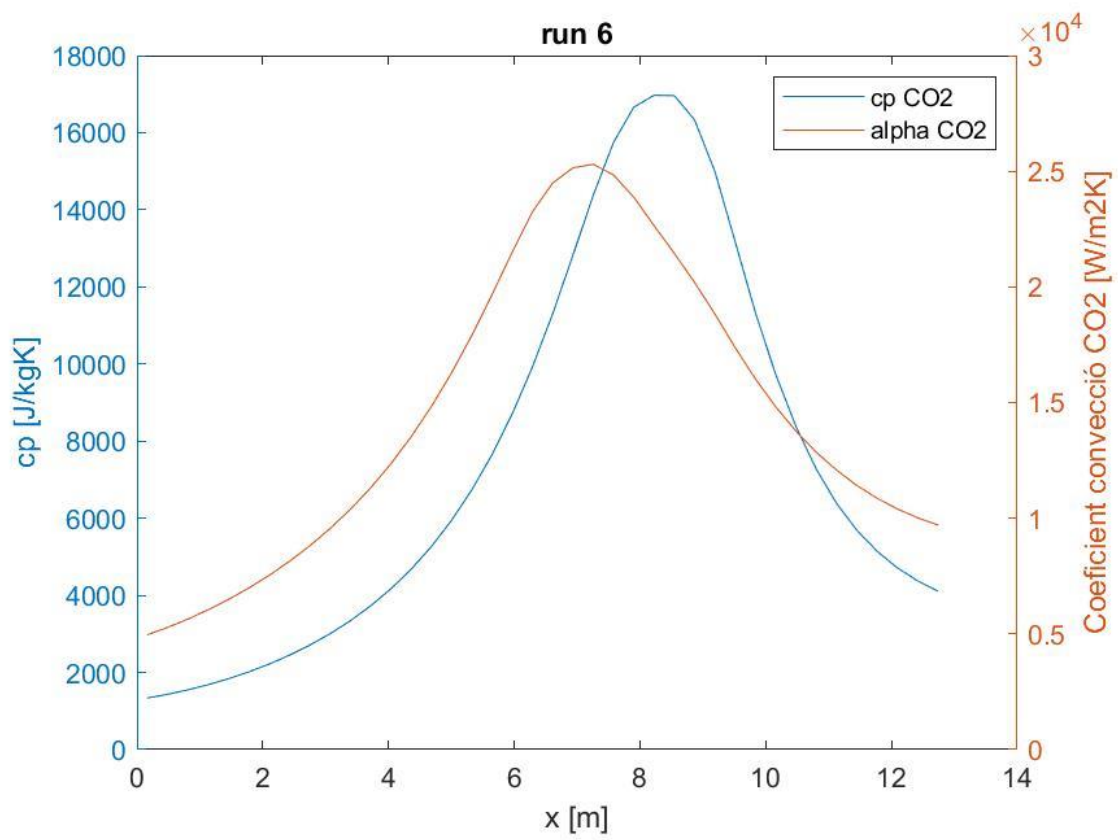
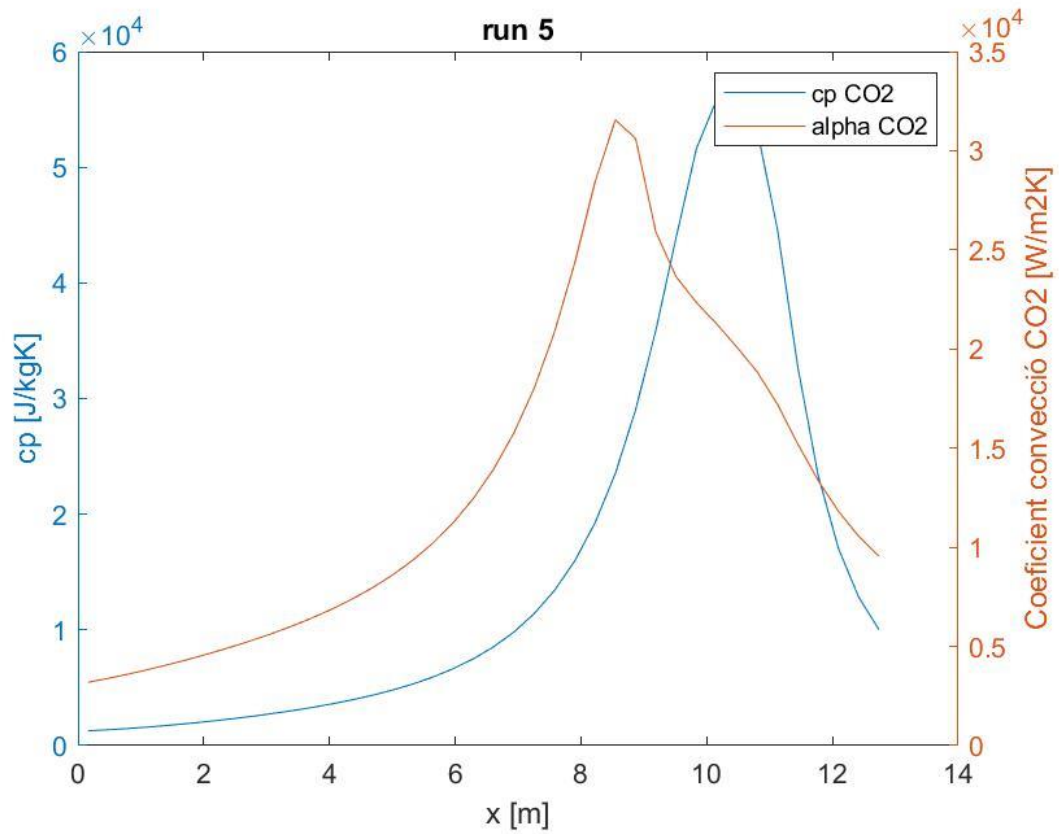


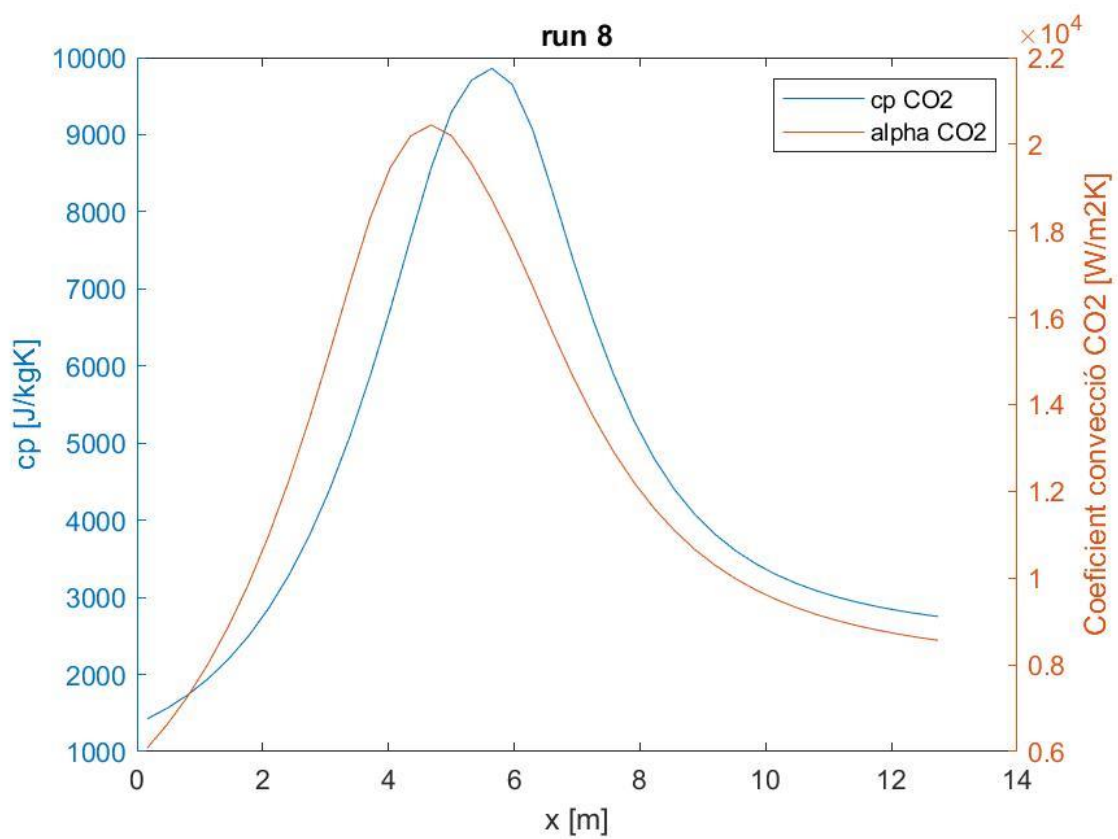
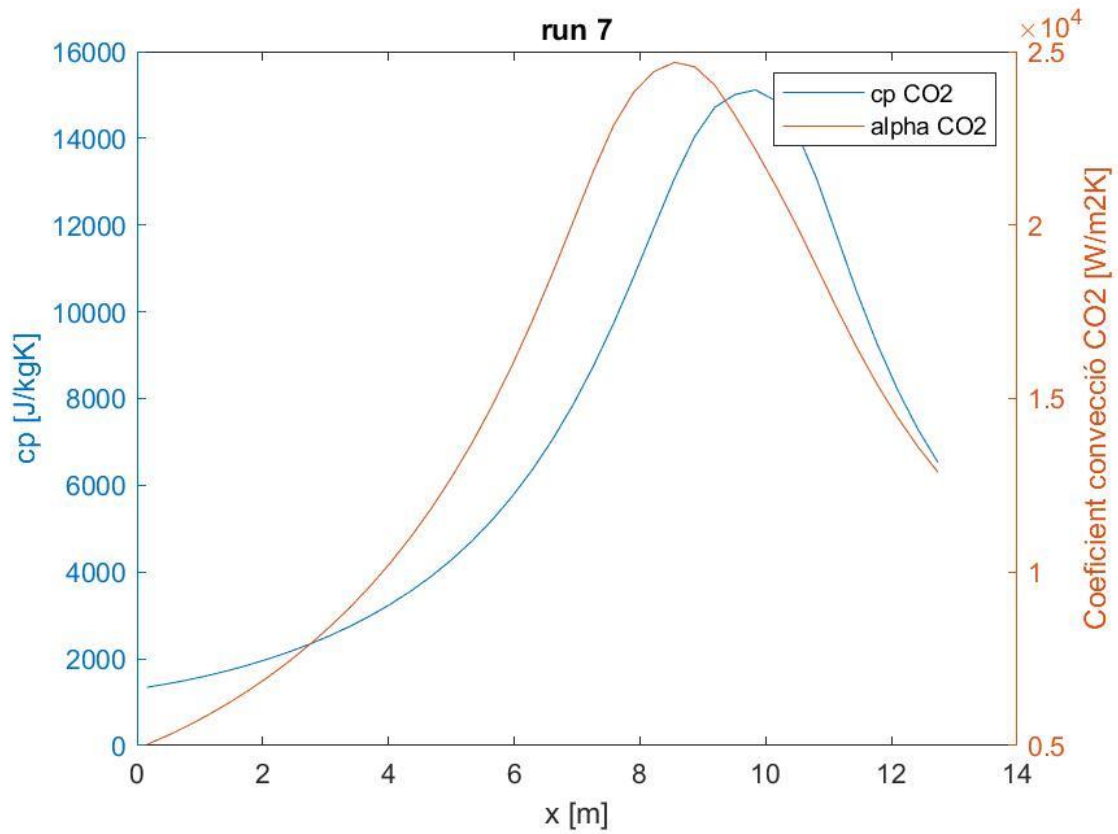


## 2.2. Diagrama calor específica i coeficient de transferència de calor de convecció del CO<sub>2</sub>

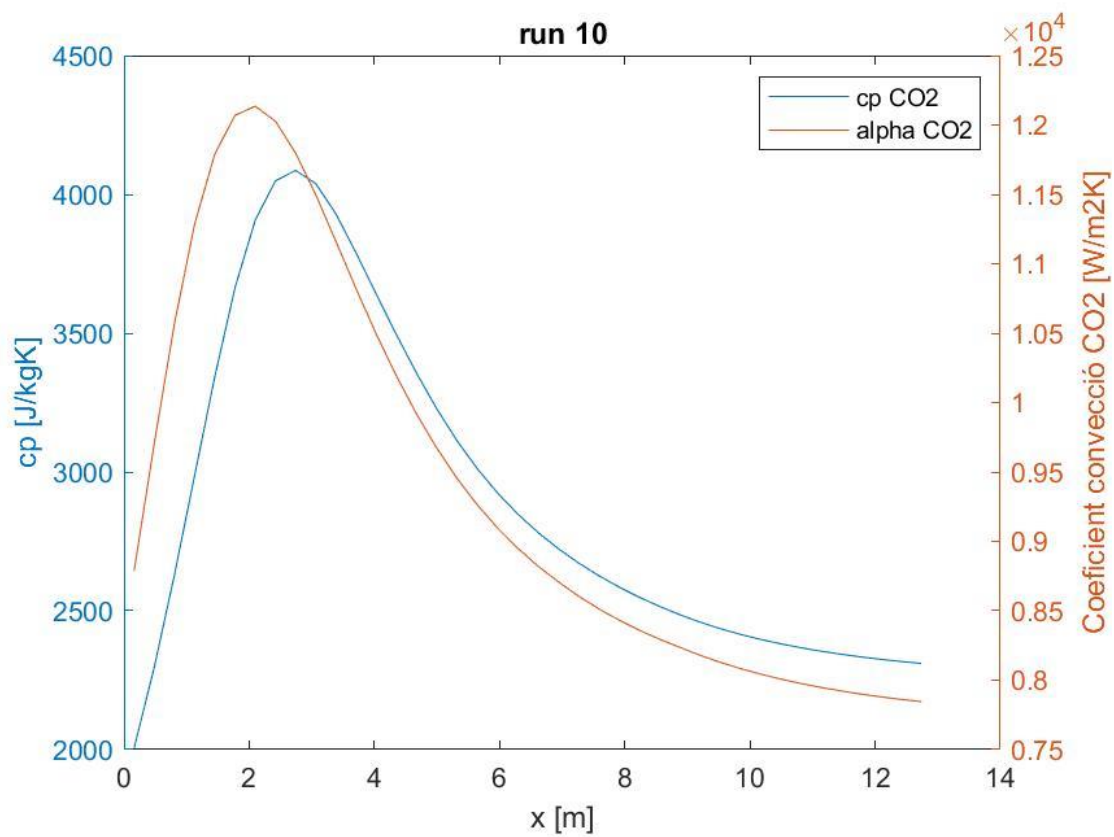
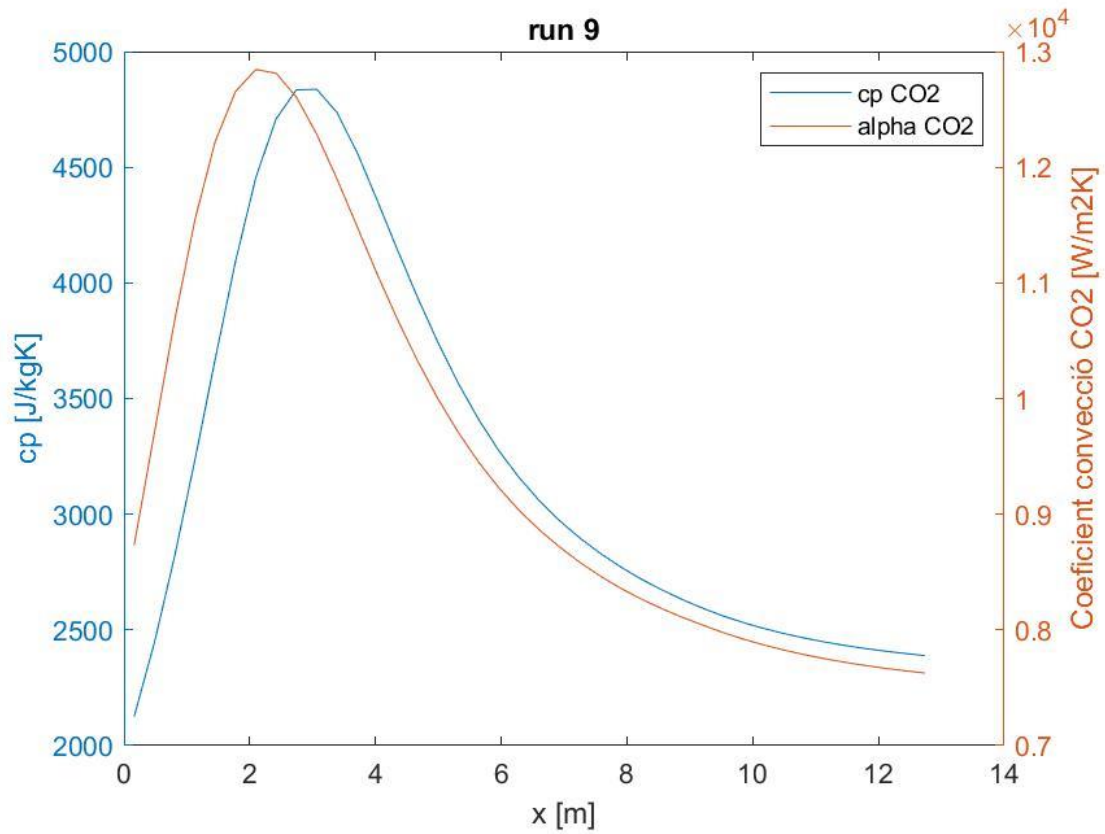






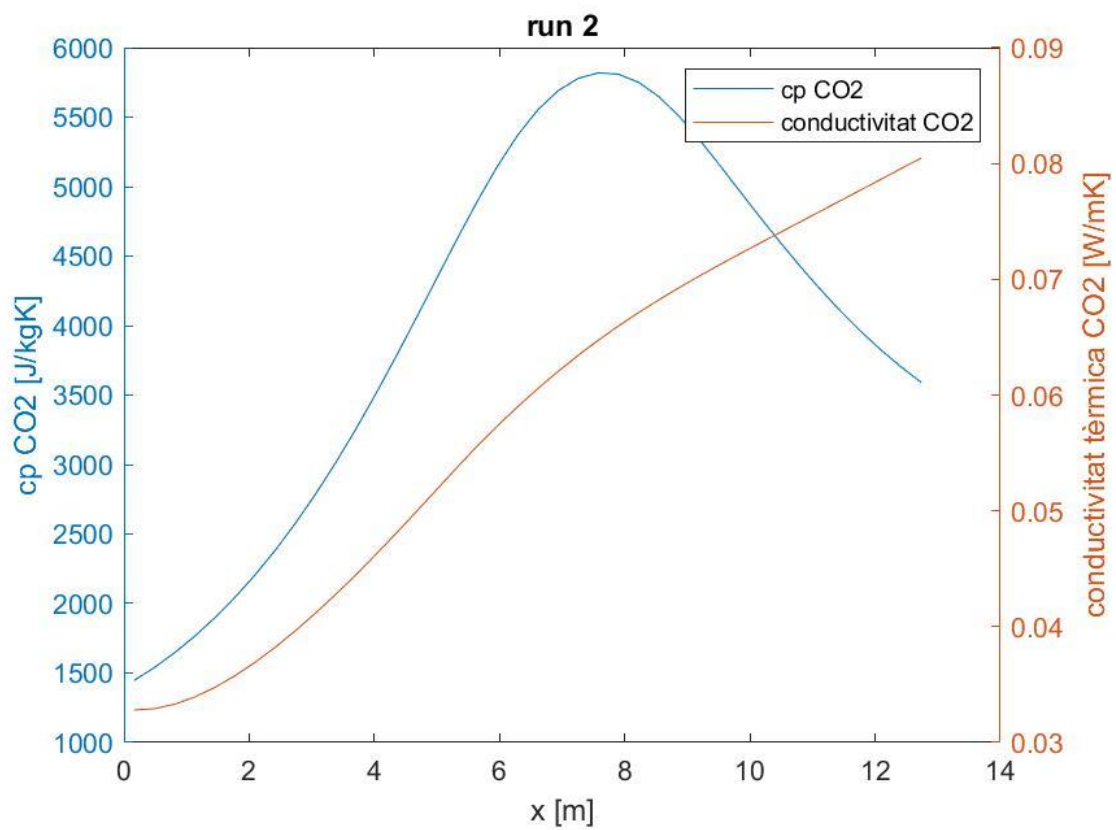
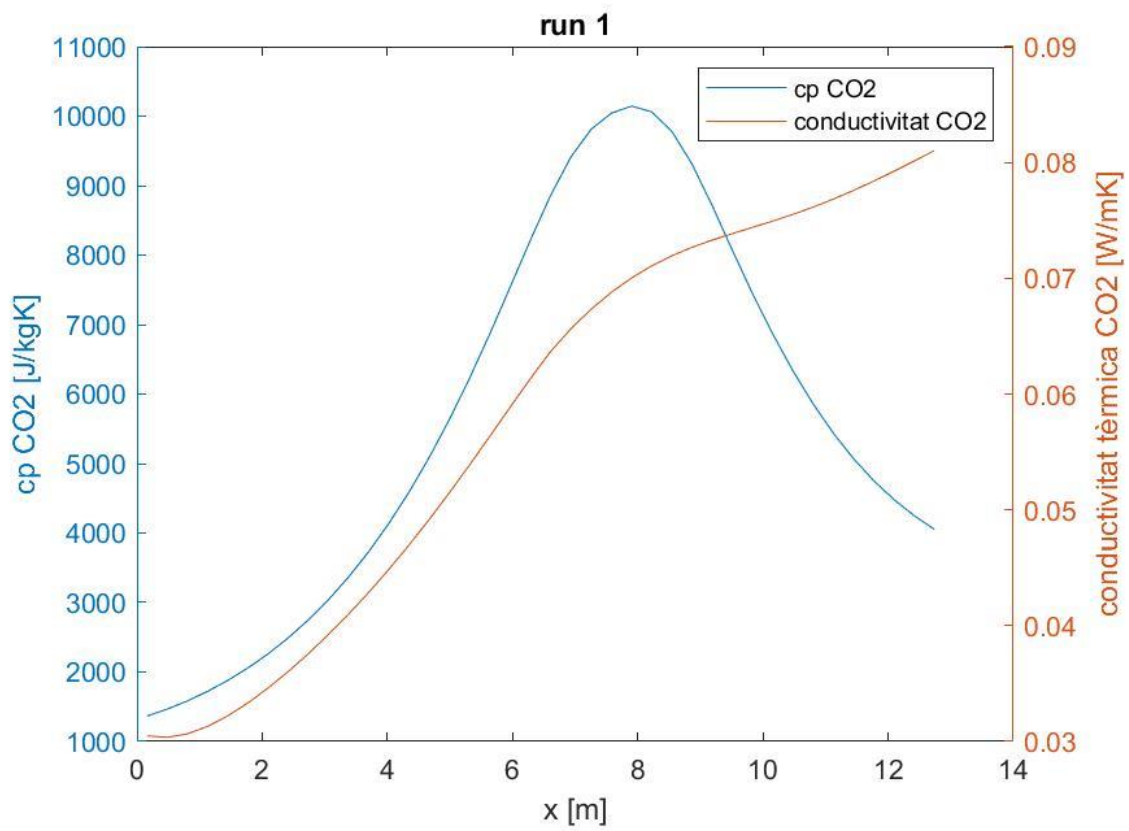


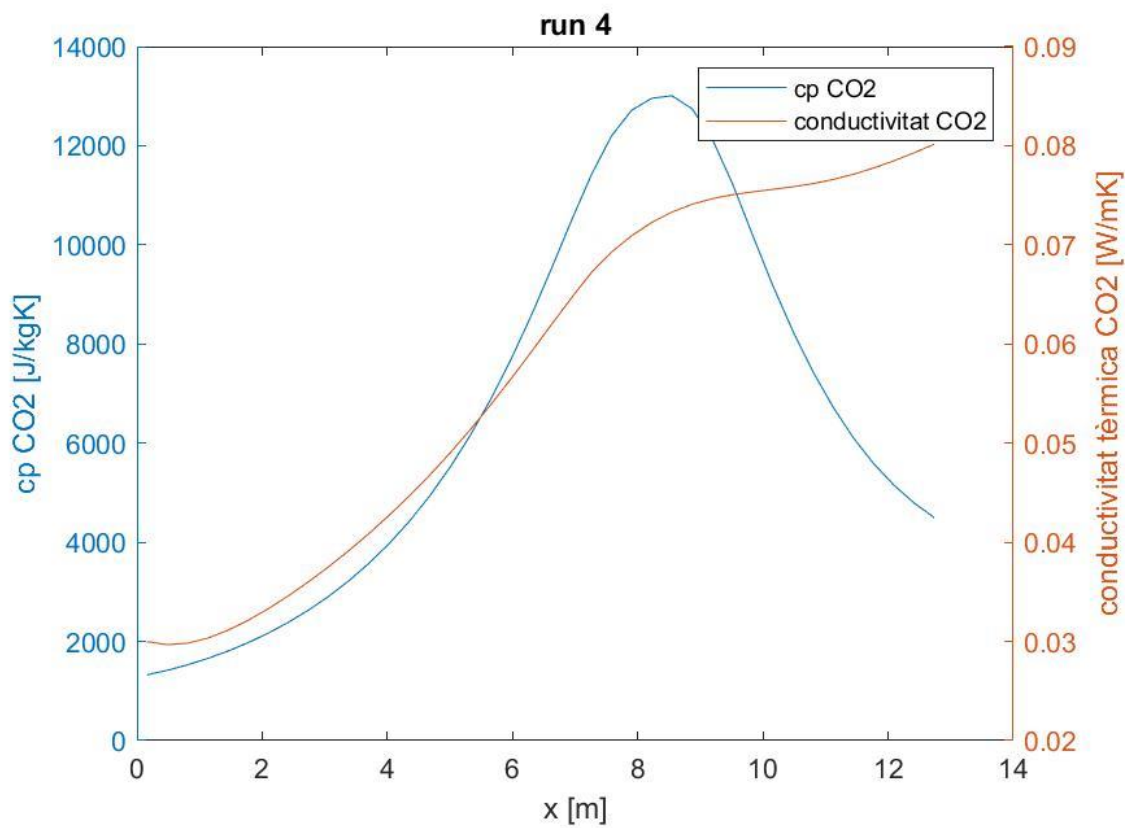
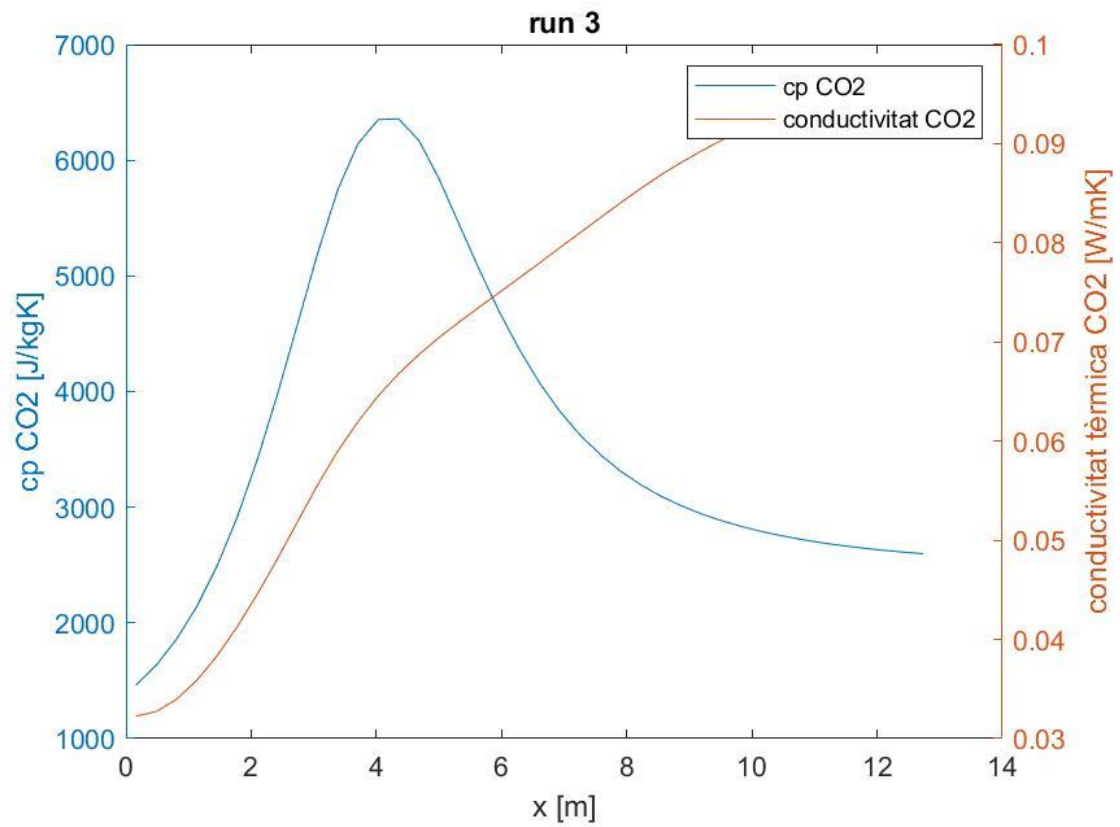


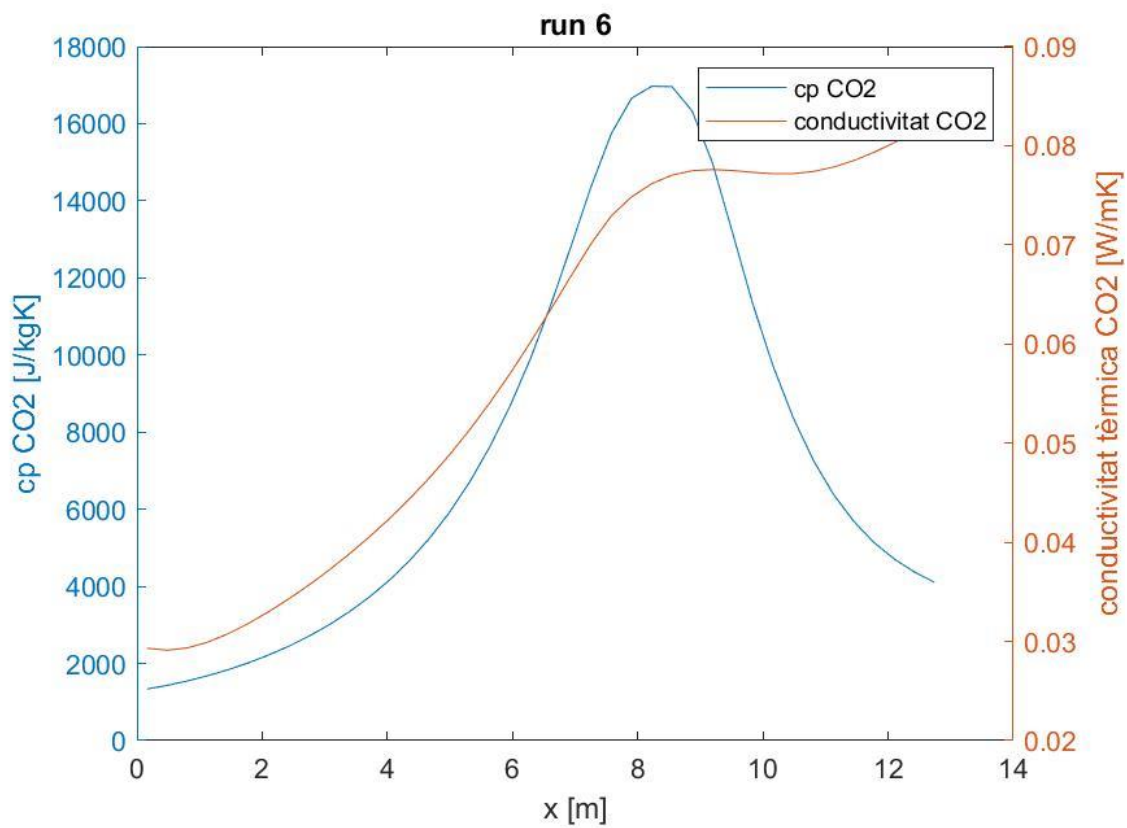
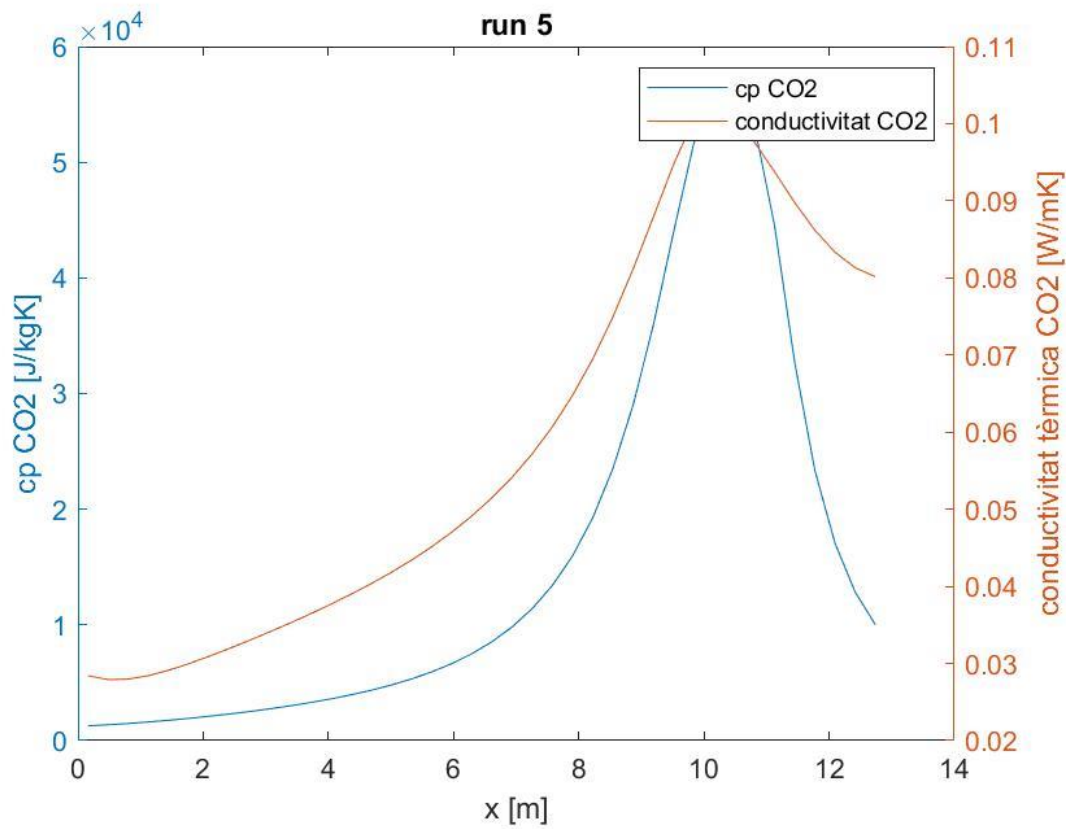


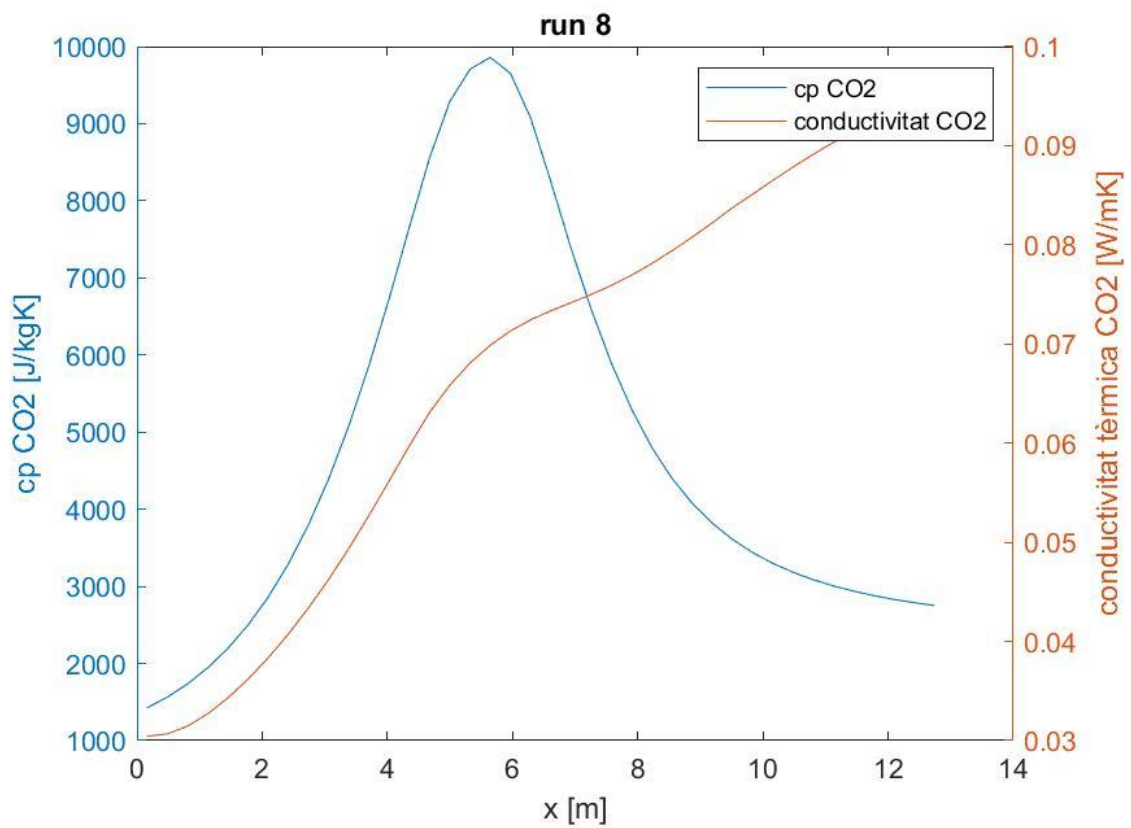
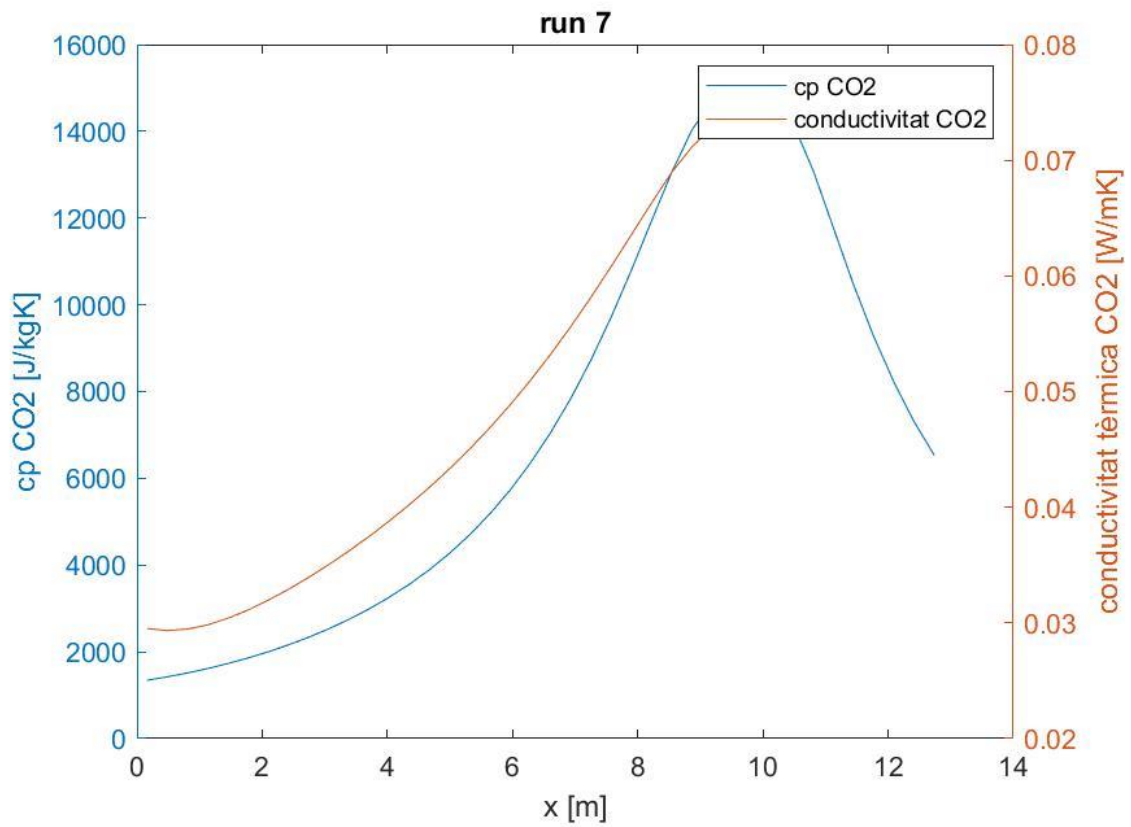


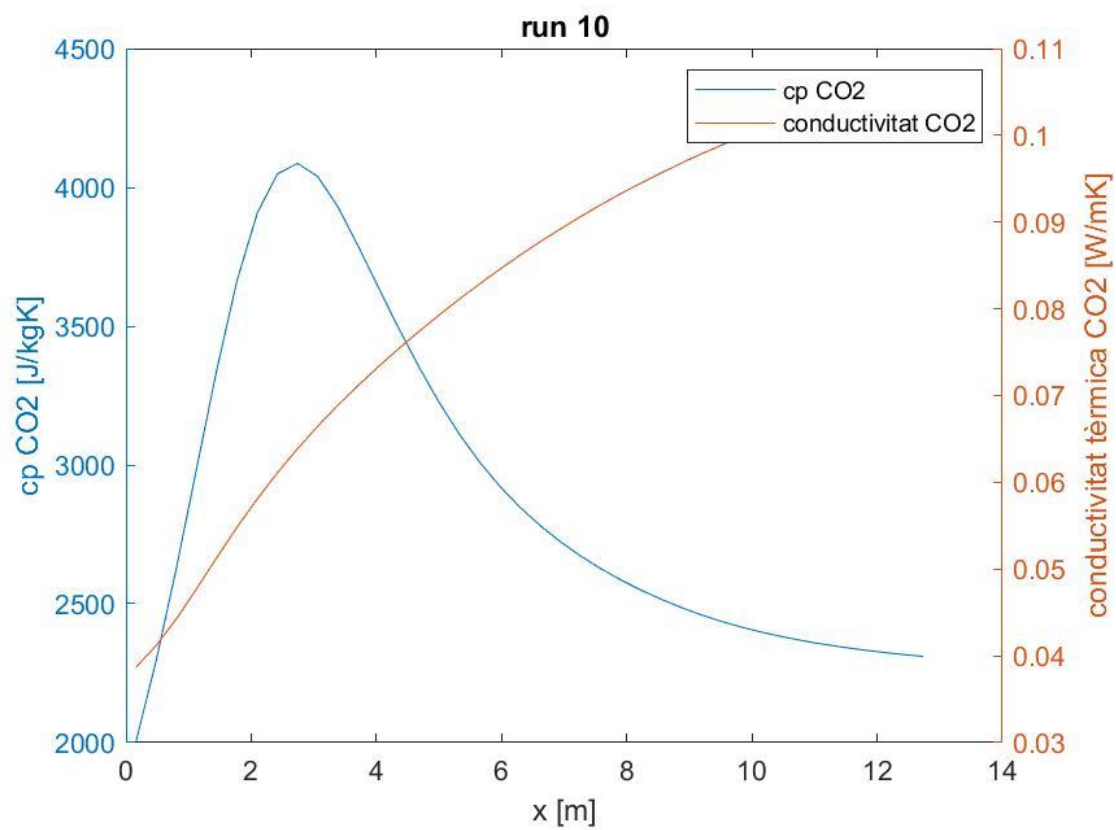
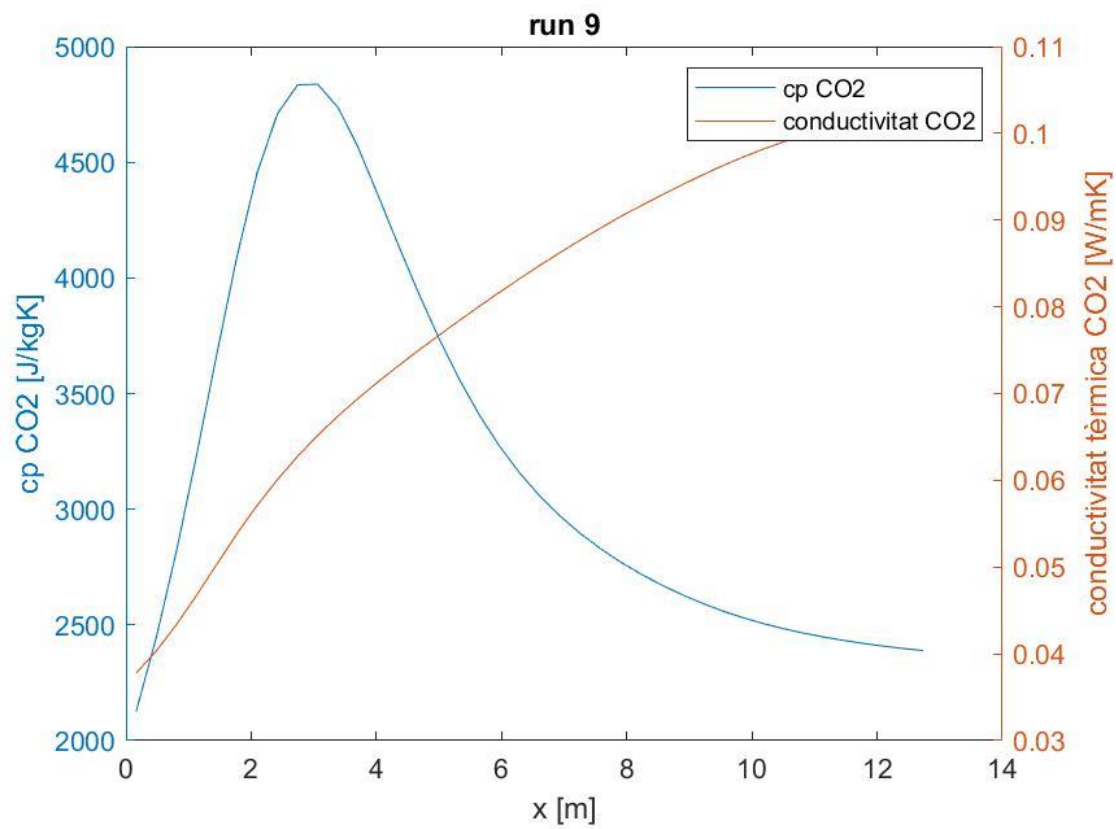
### 2.3. Diagrama de la calor específica i conductivitat tèrmica del CO2



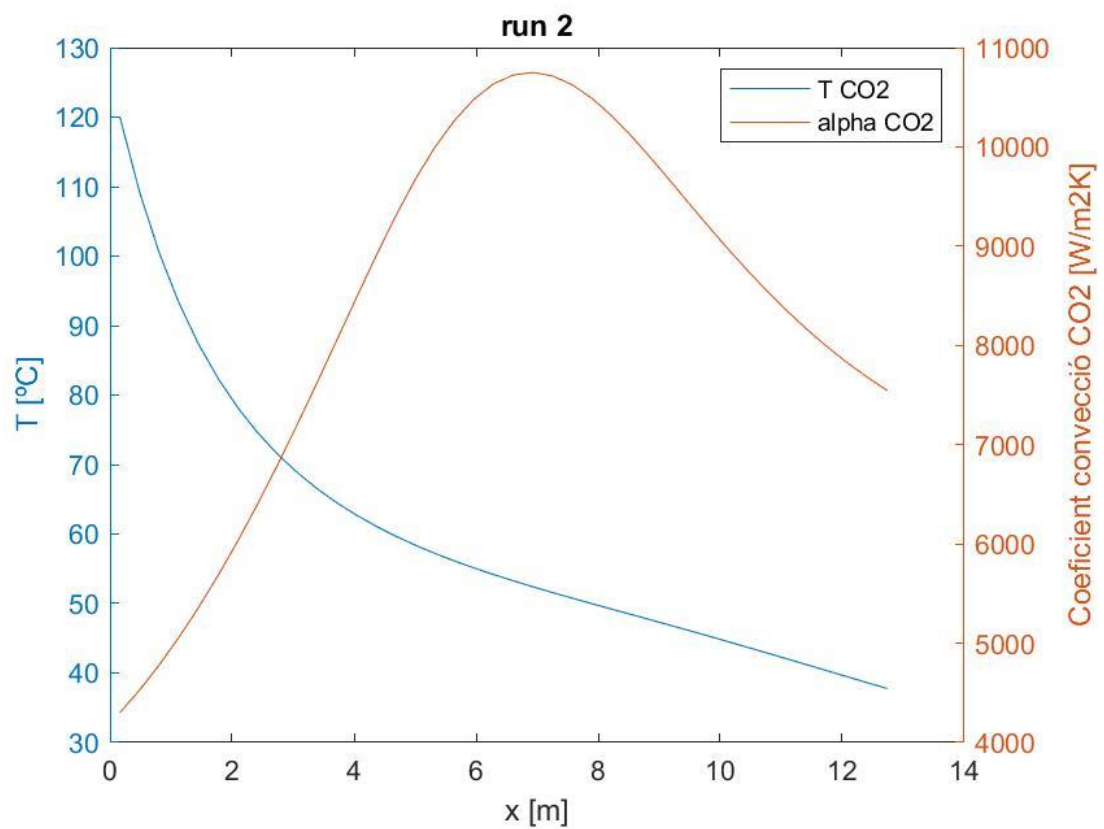
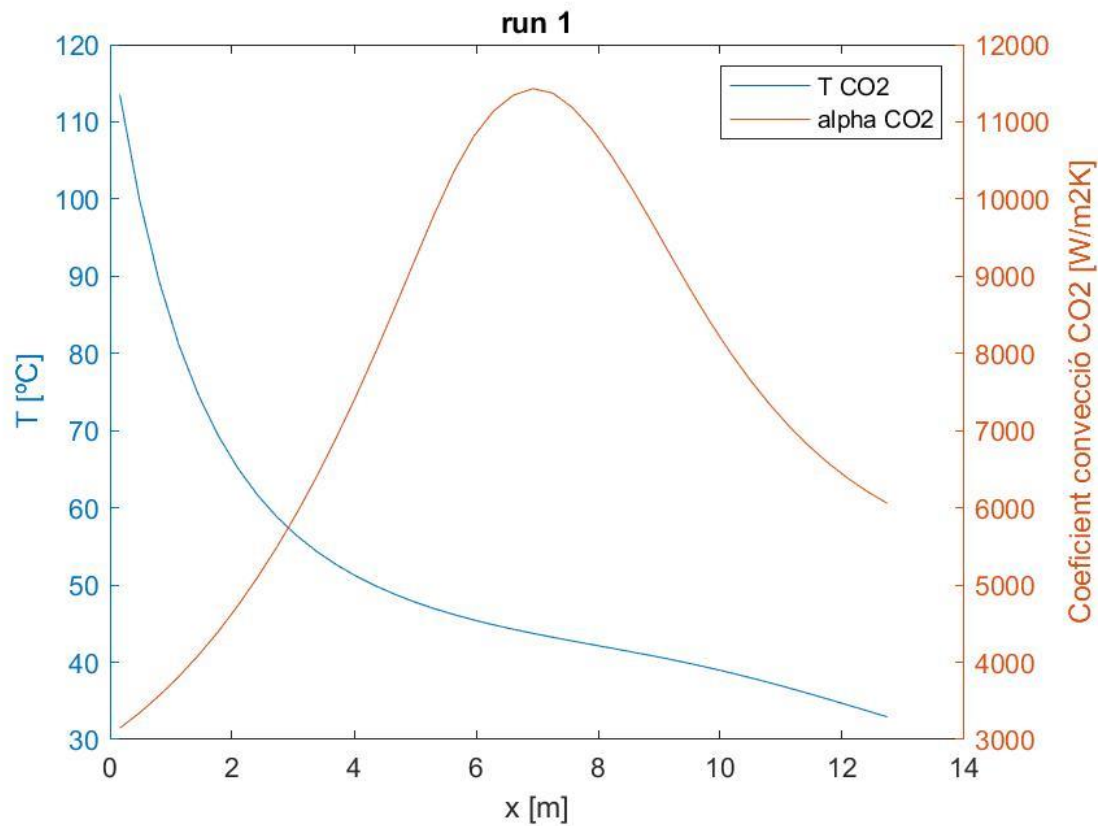




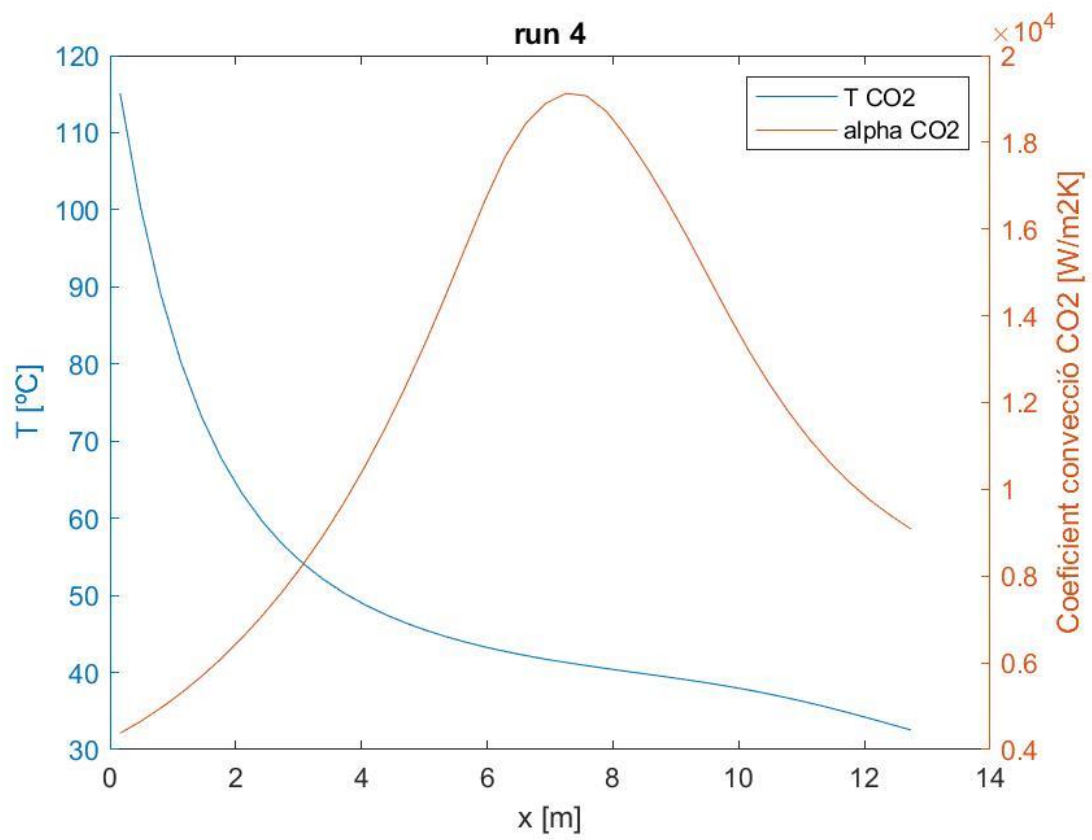
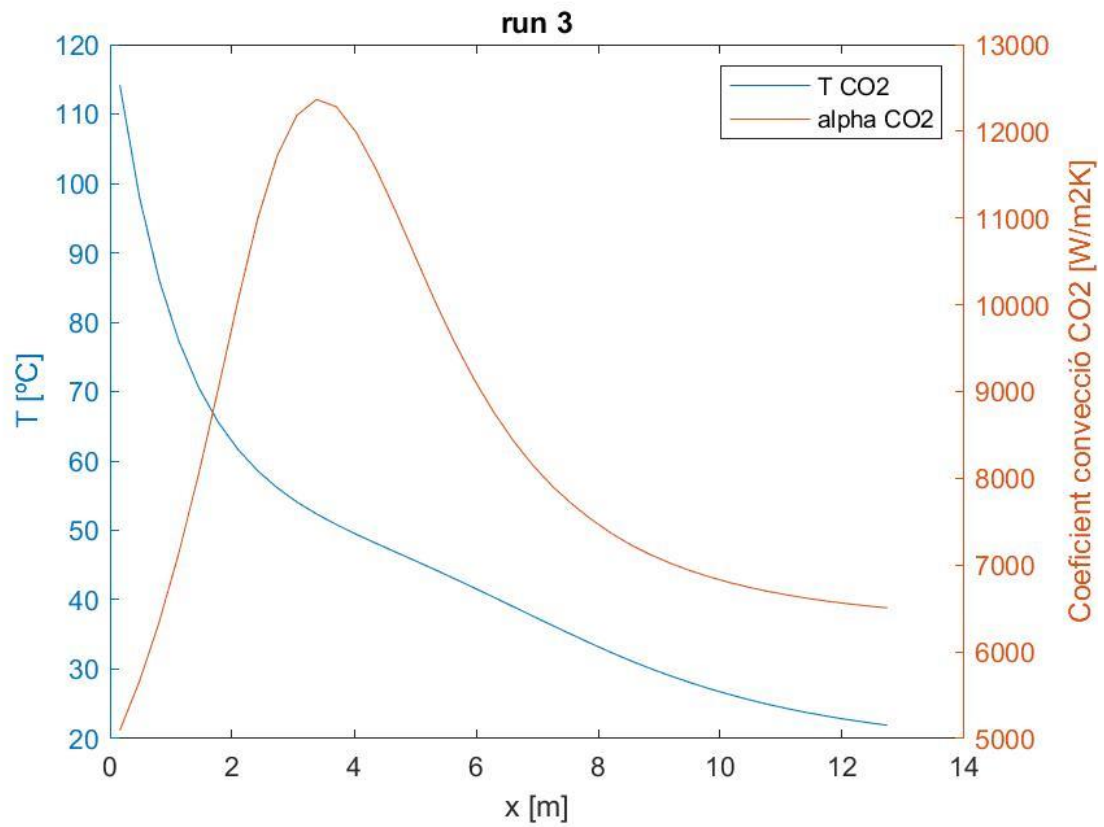


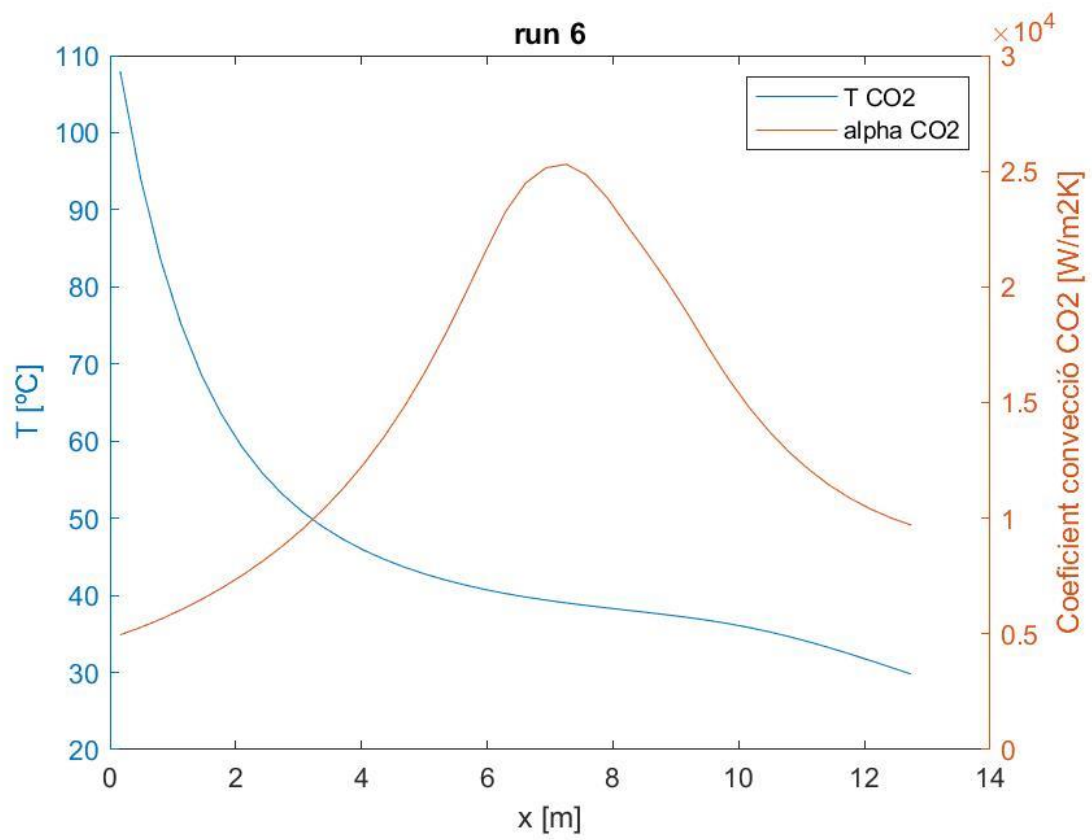
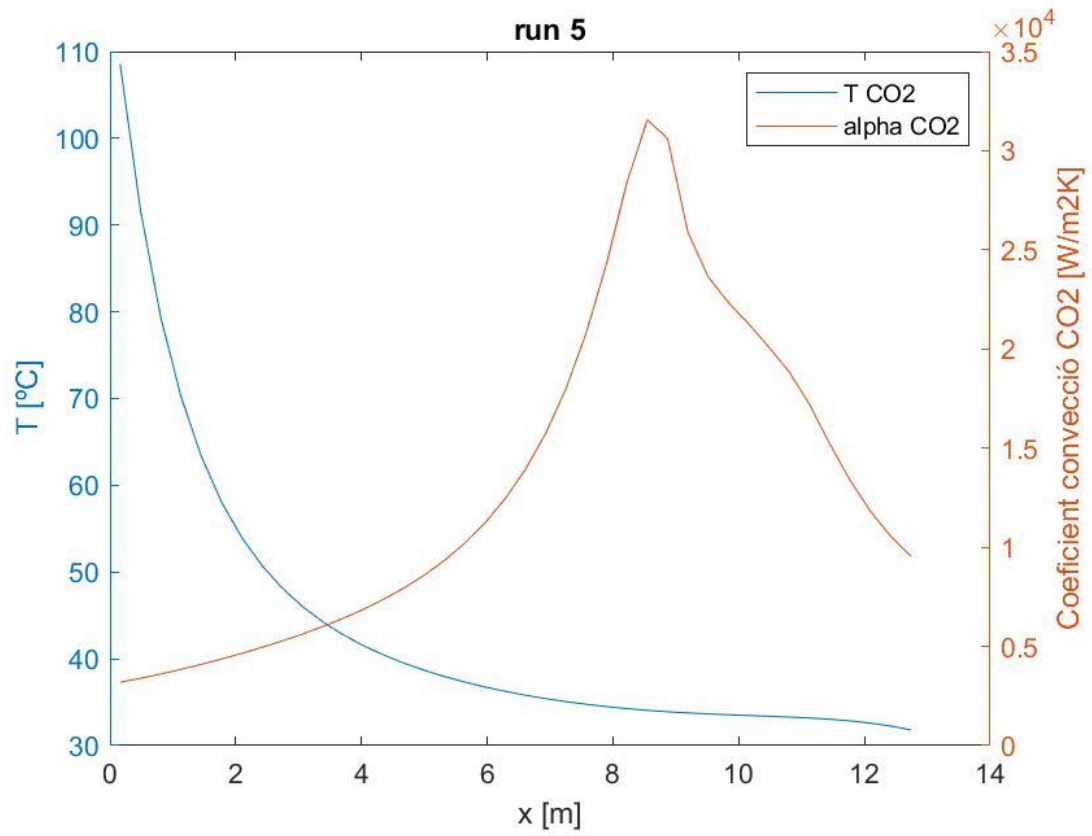


## 2.4. Diagrama de la temperatura i coeficient de transferència de calor per convecció del CO2

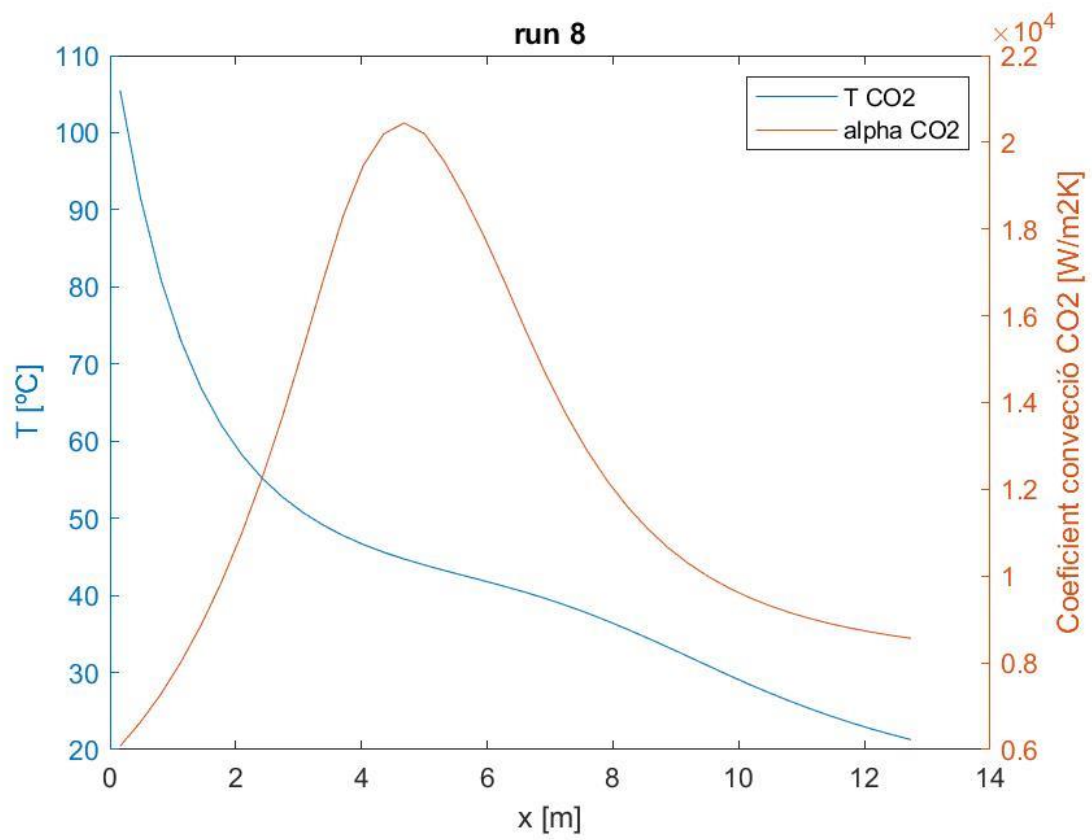
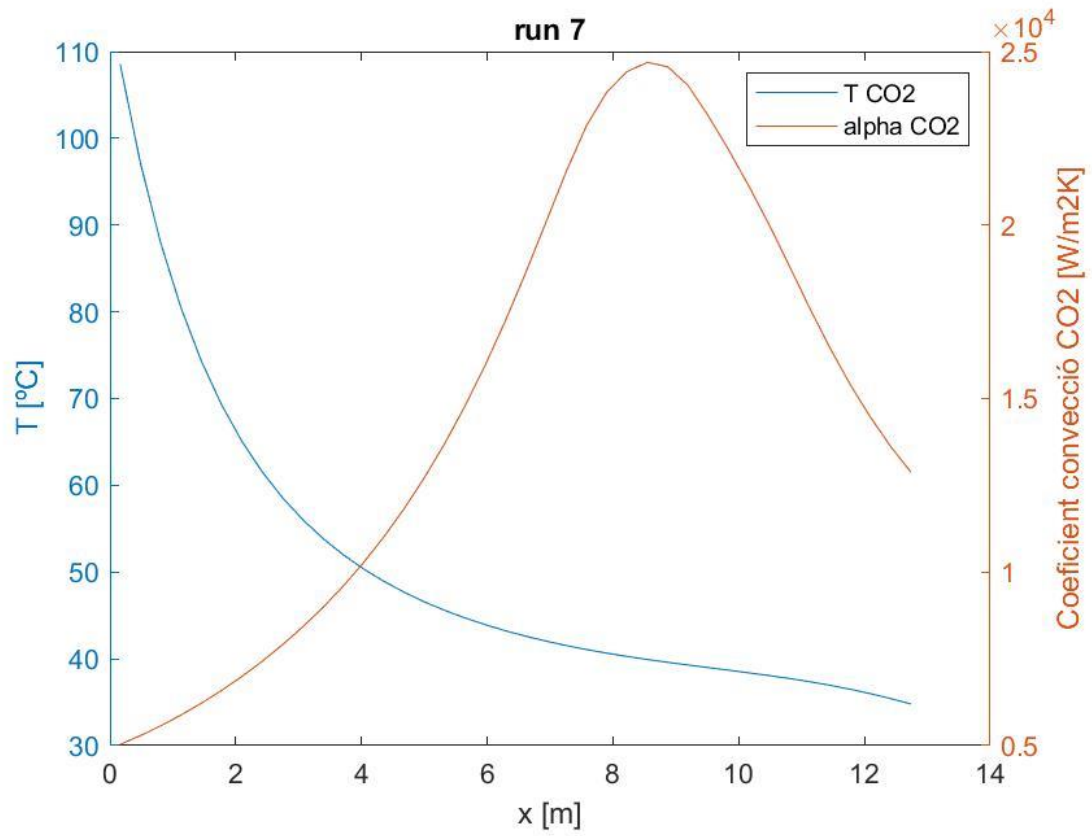


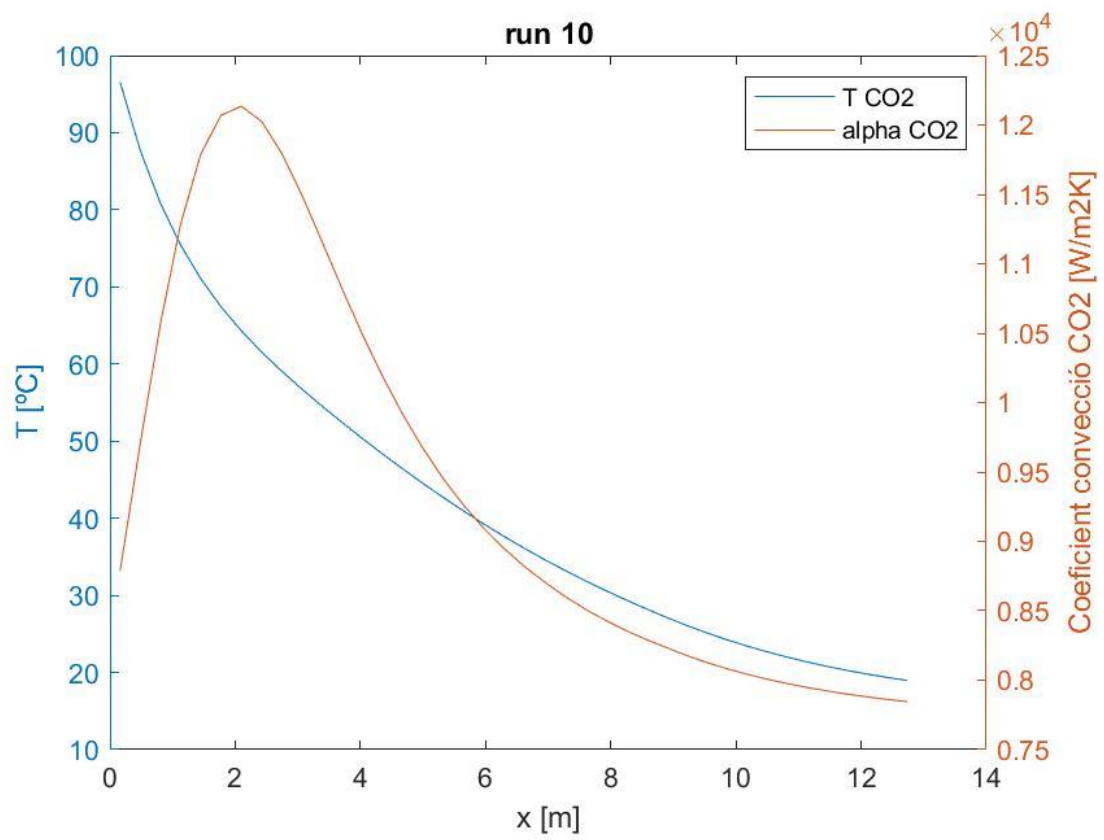
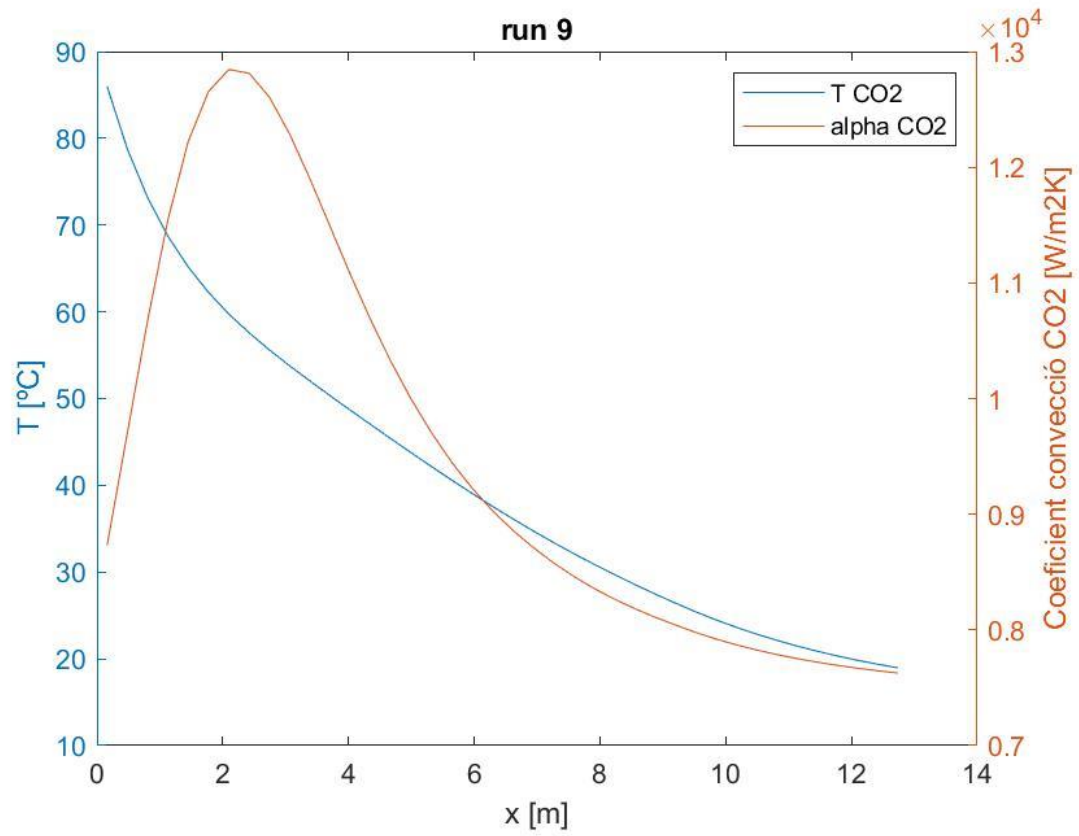




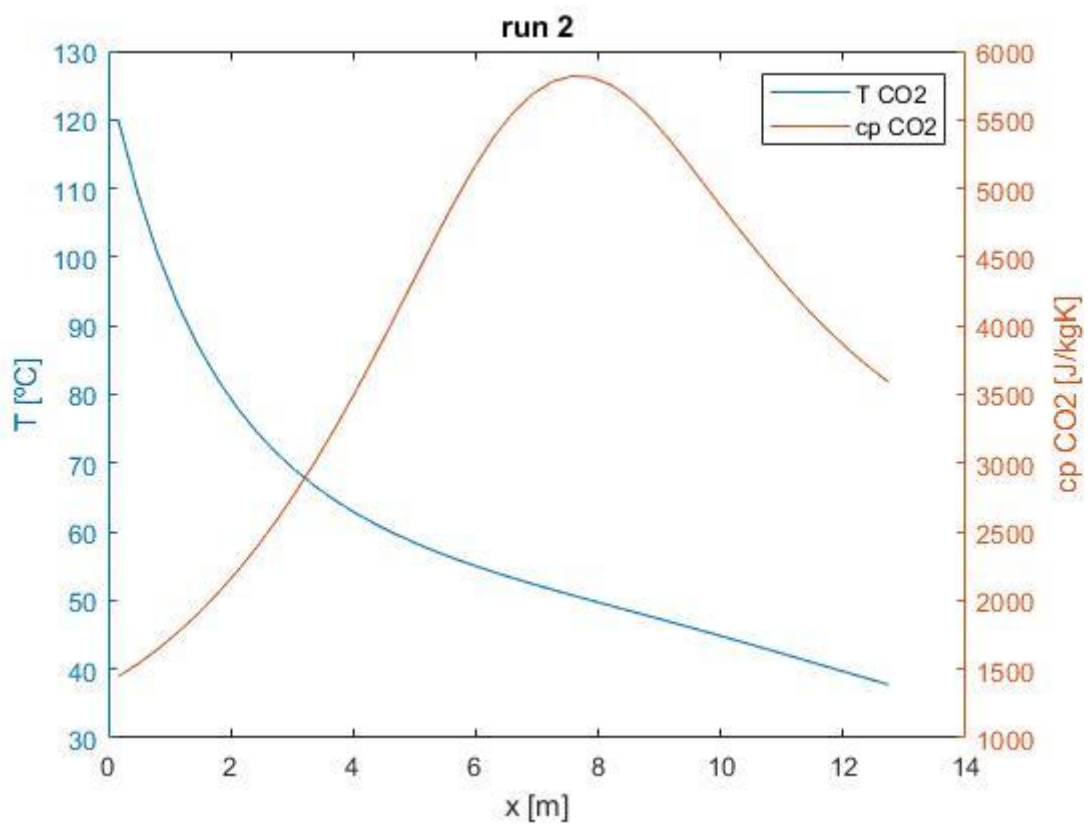
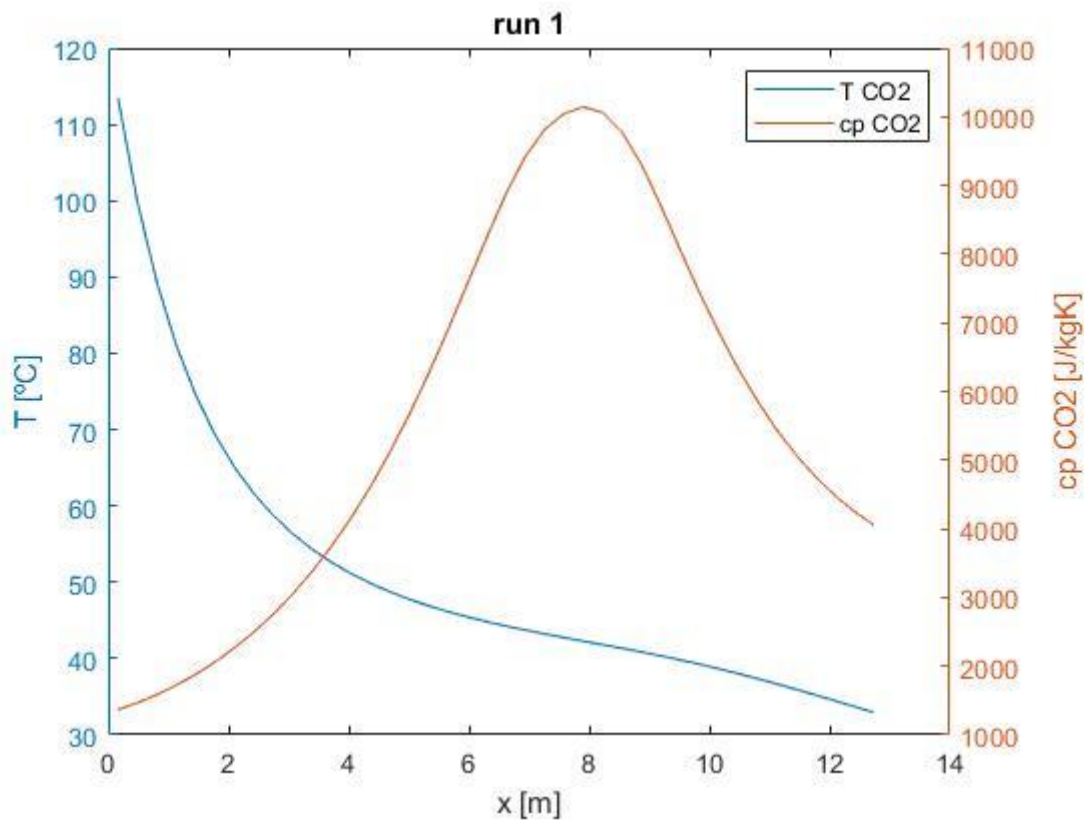


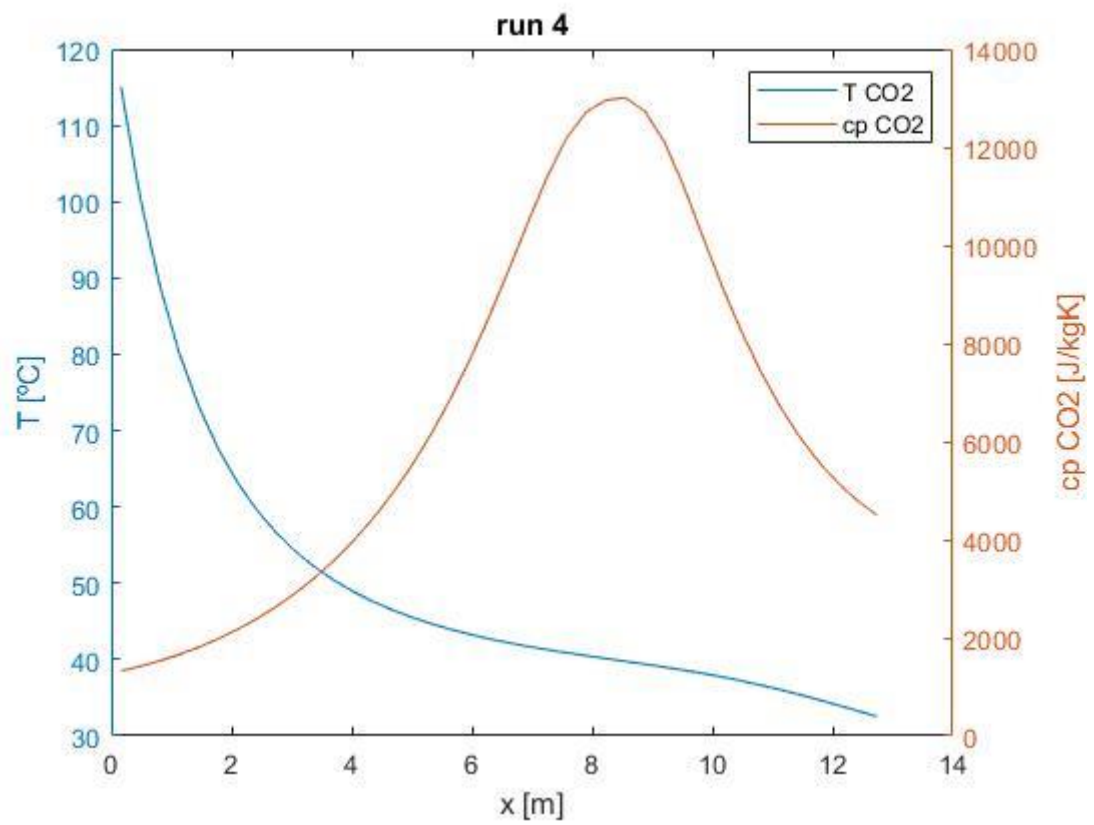
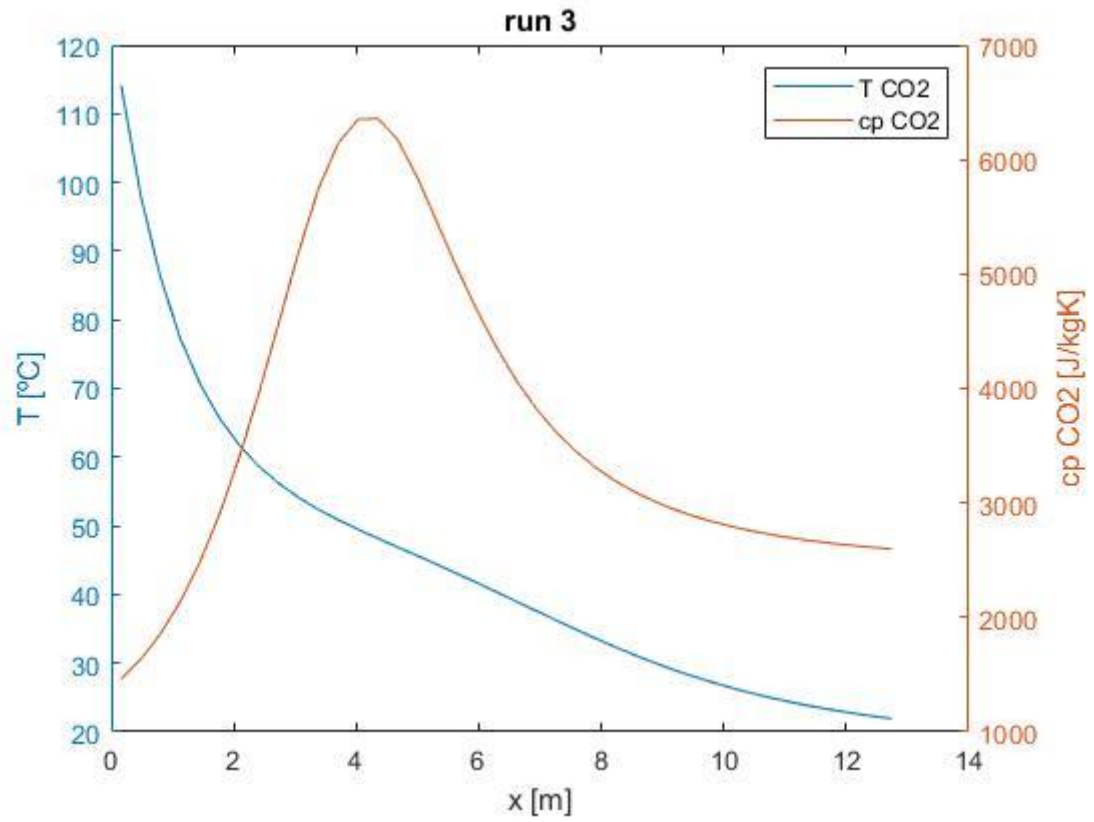


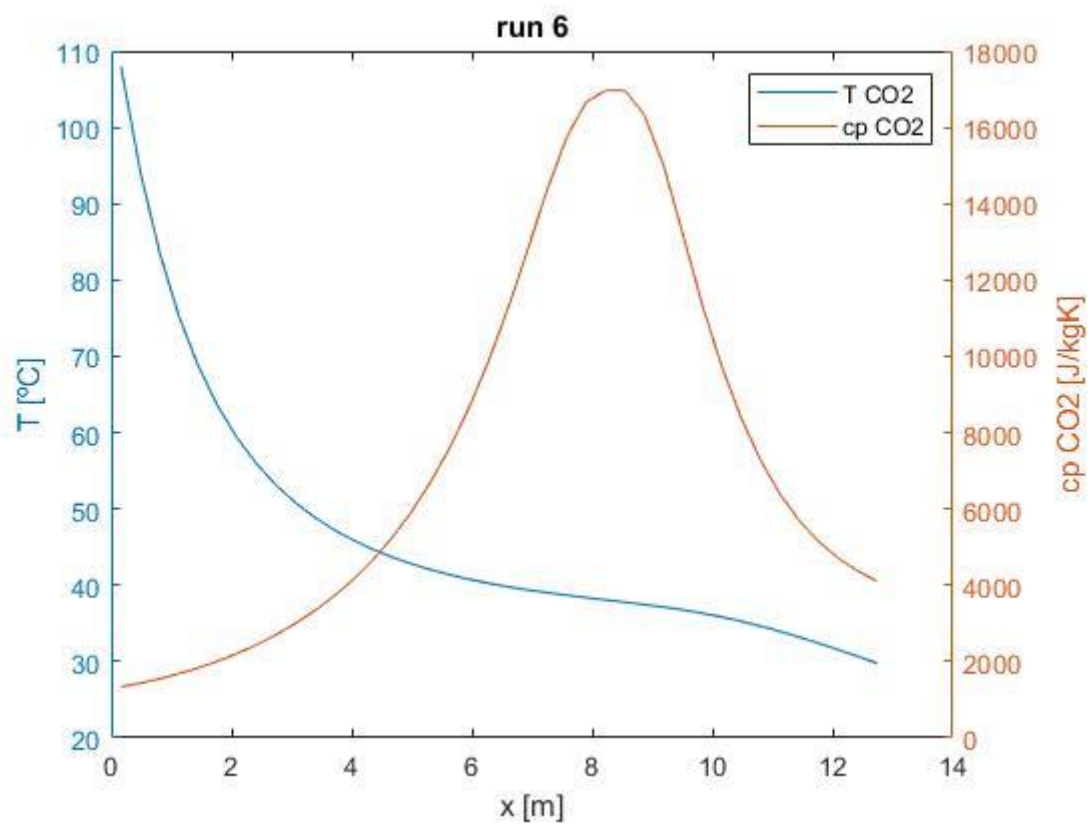
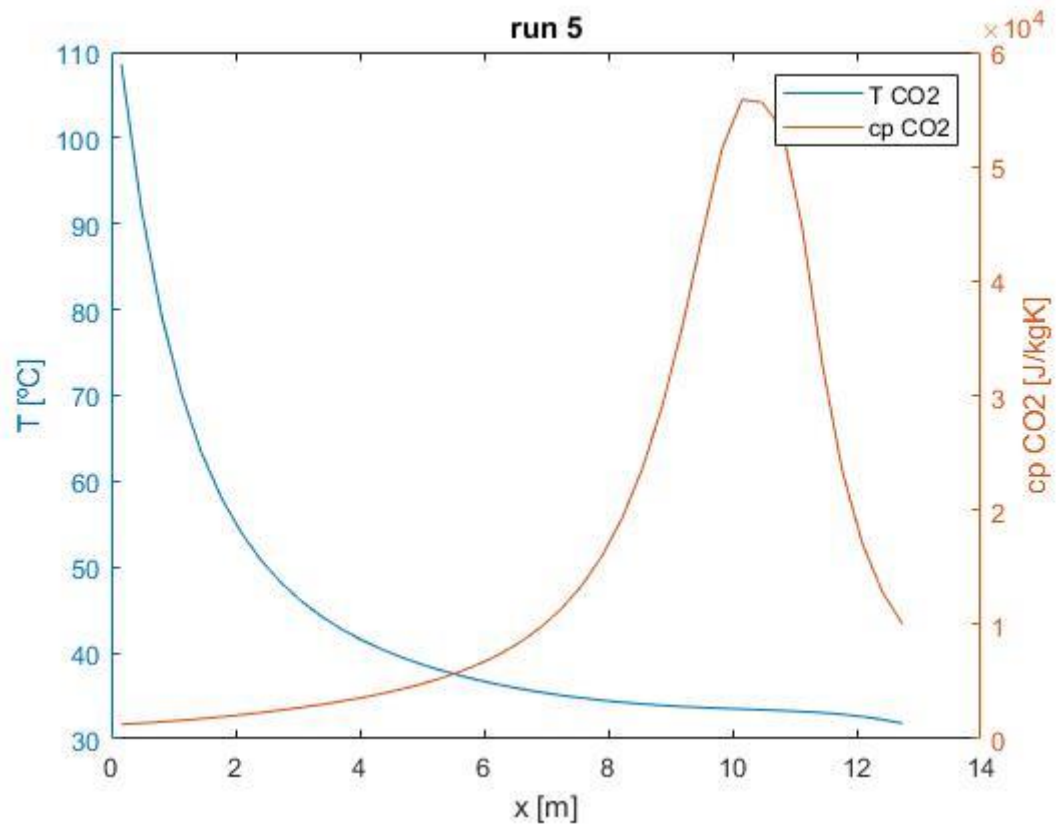


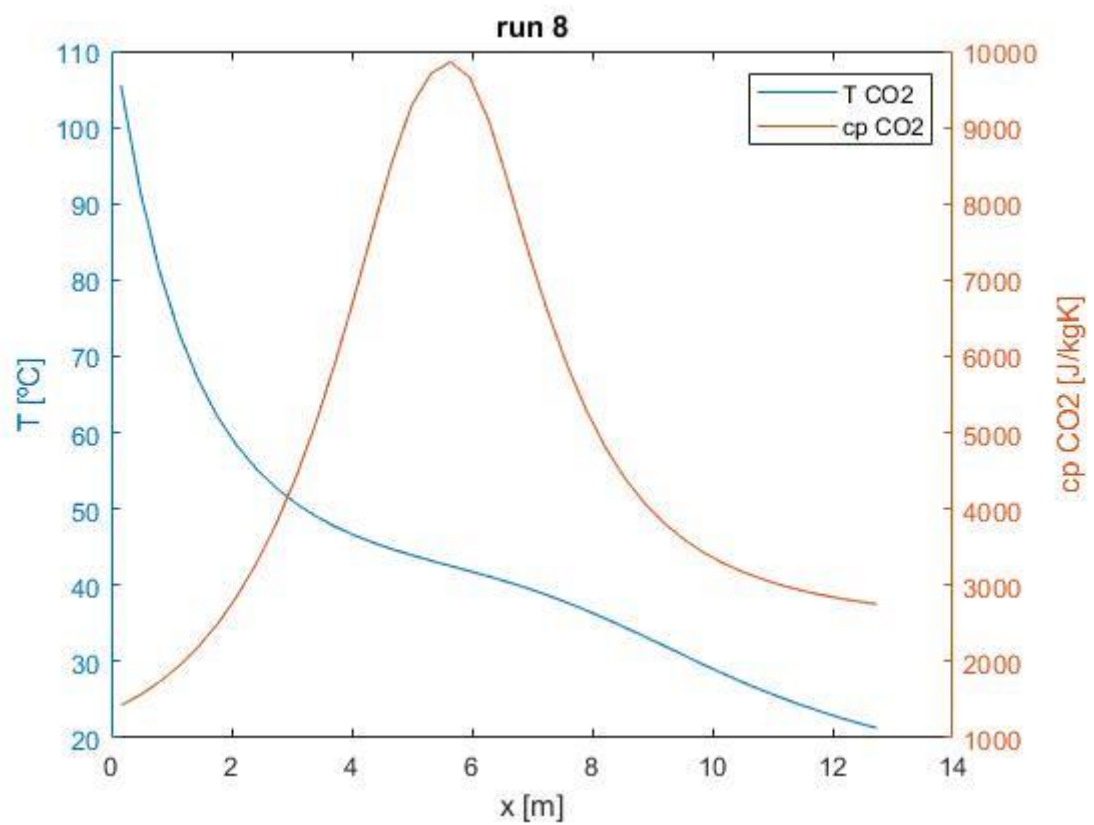
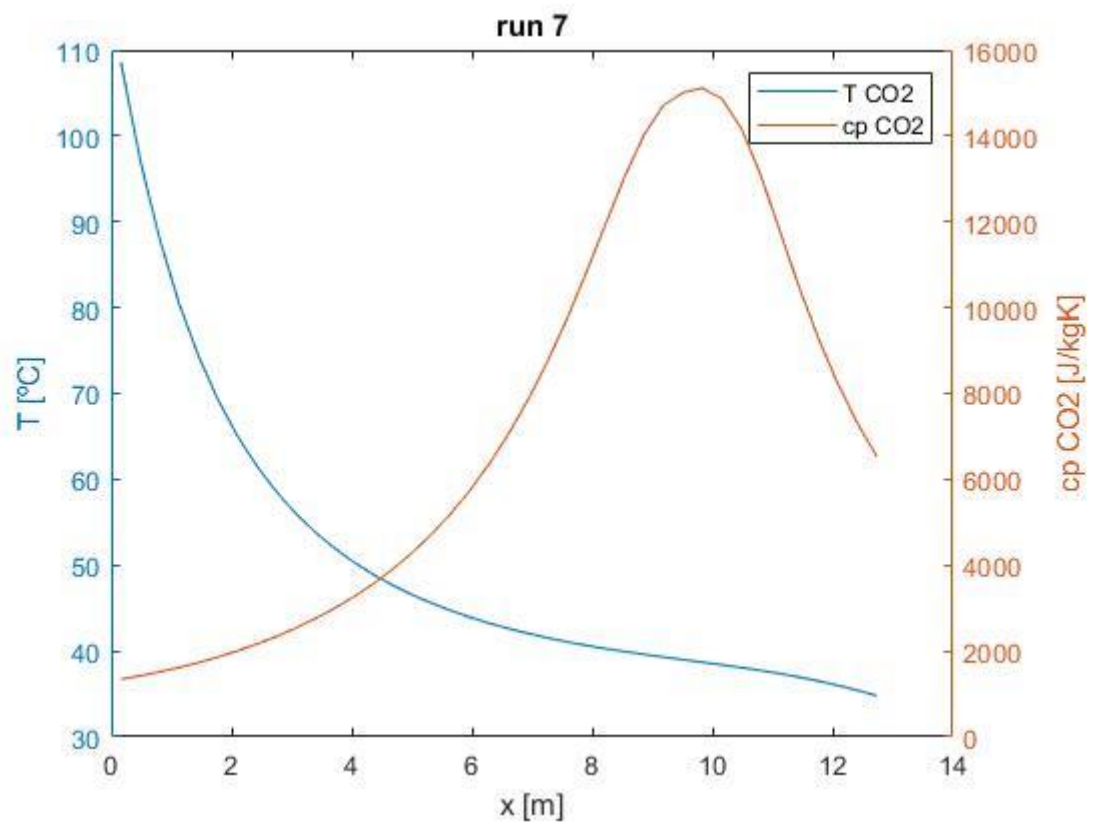


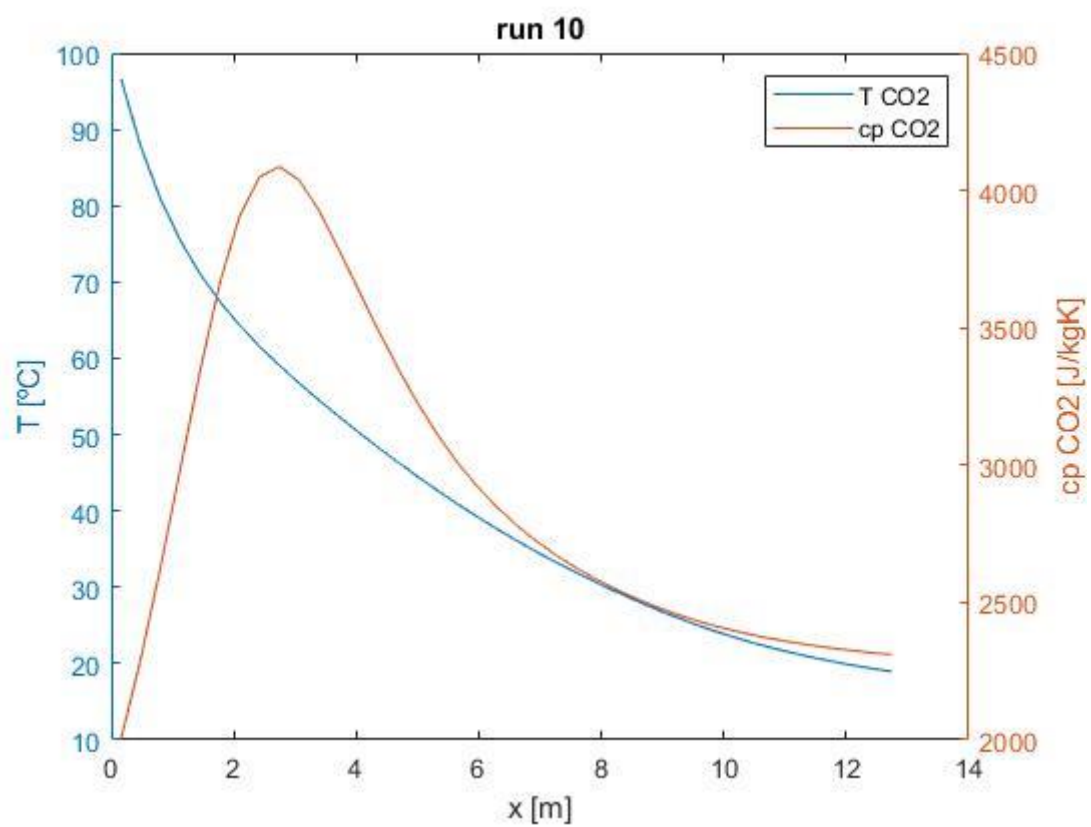
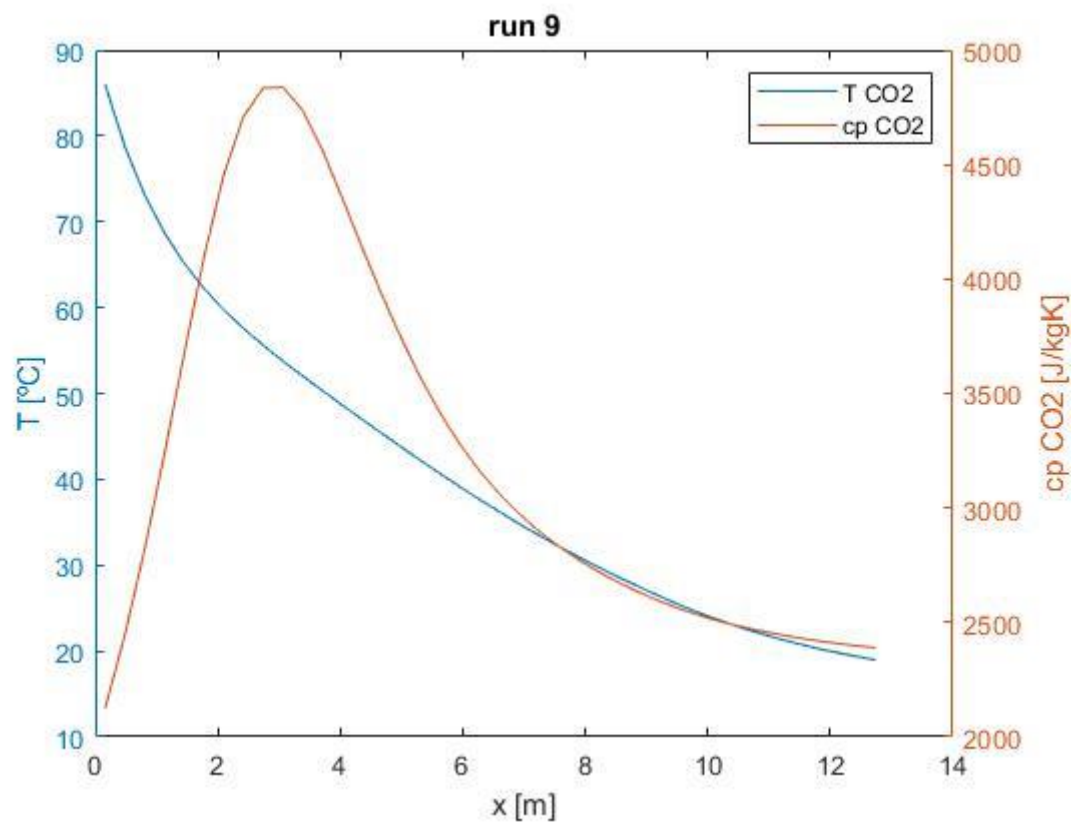
## 2.5. Diagrama de la temperatura i la calor específica del CO2





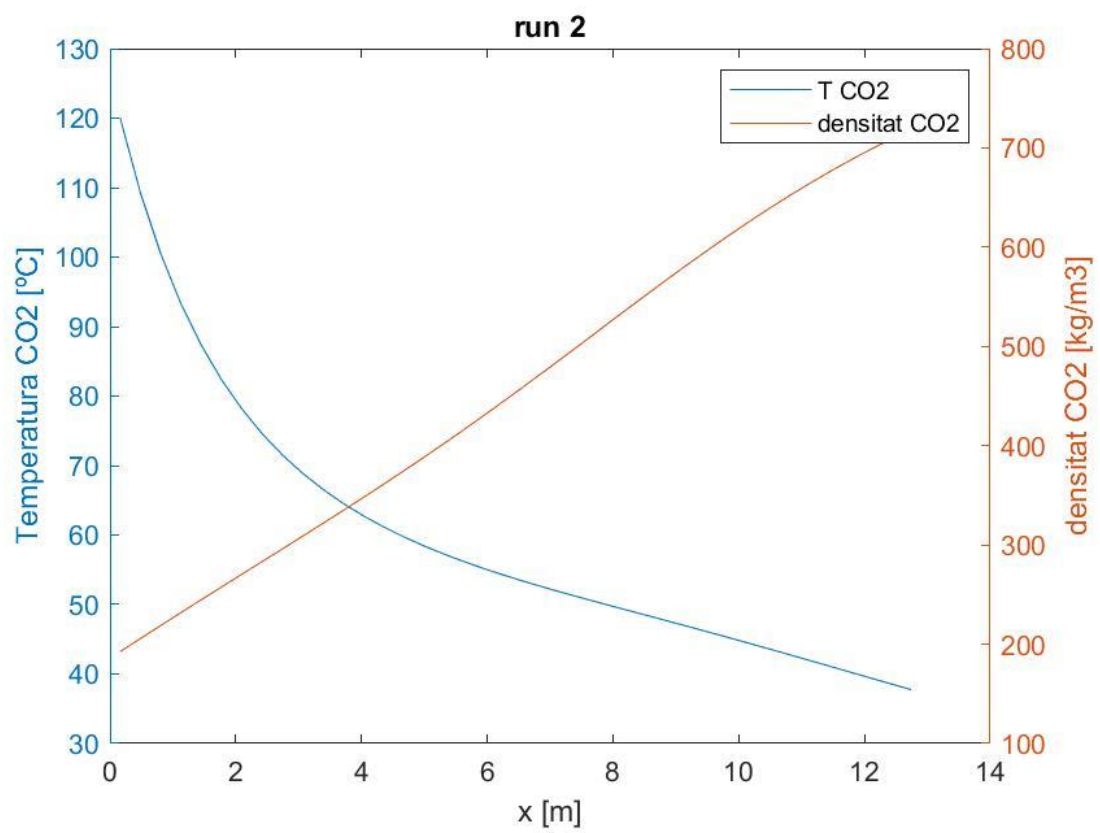
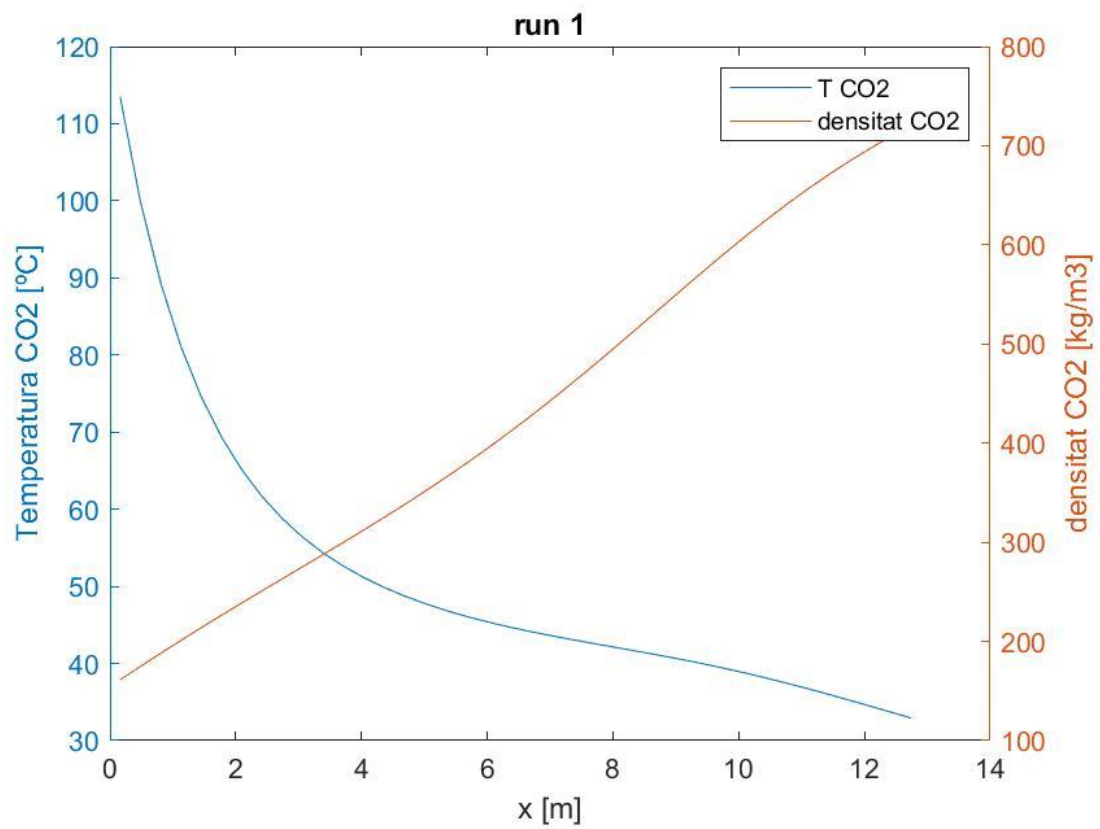




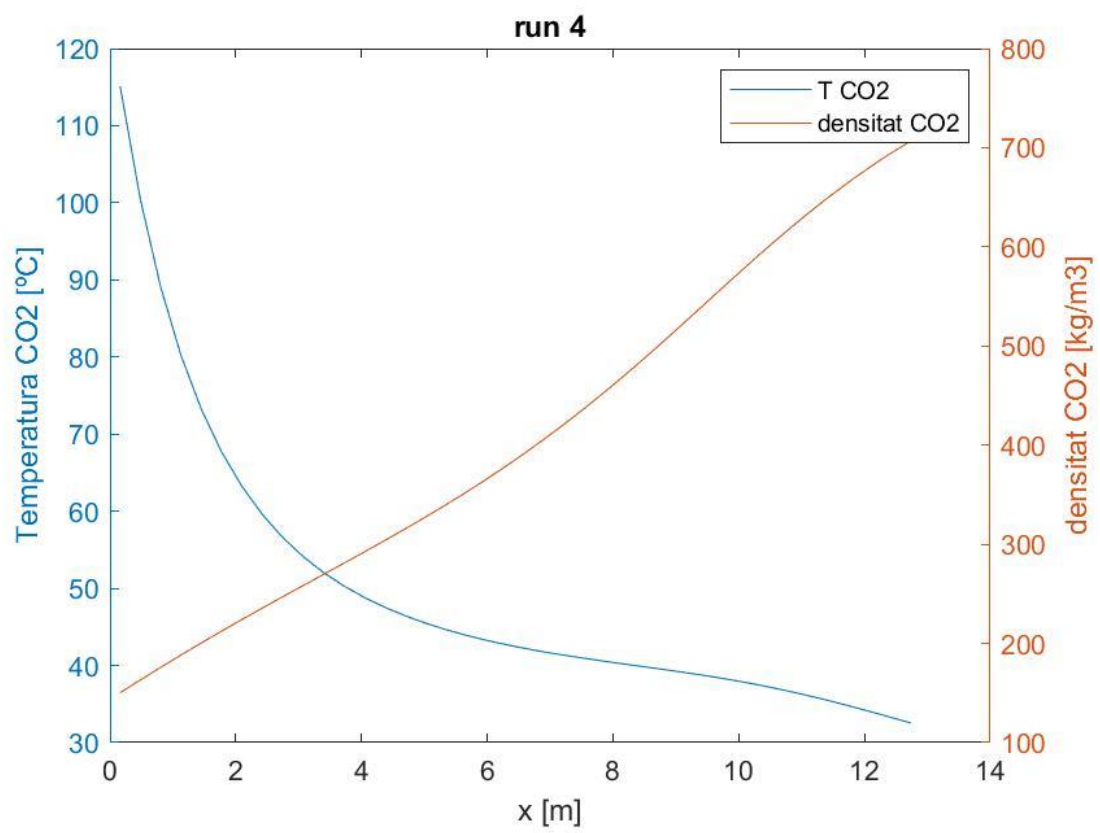
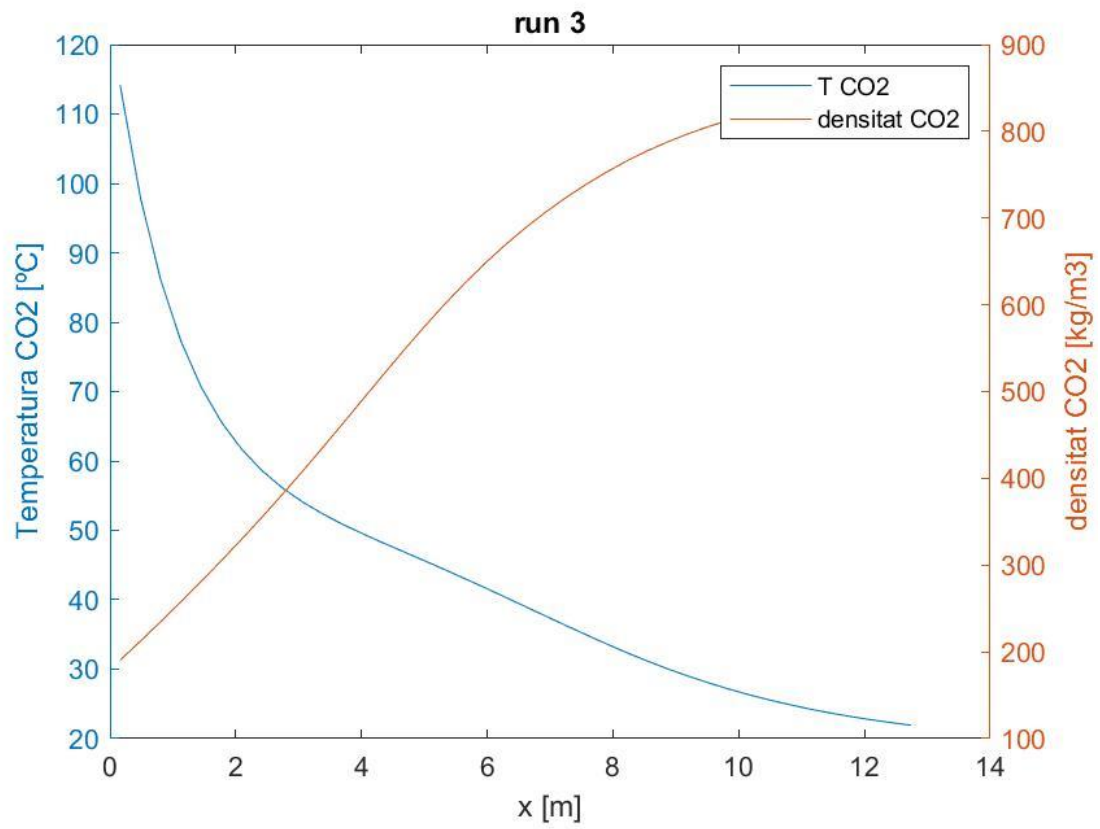


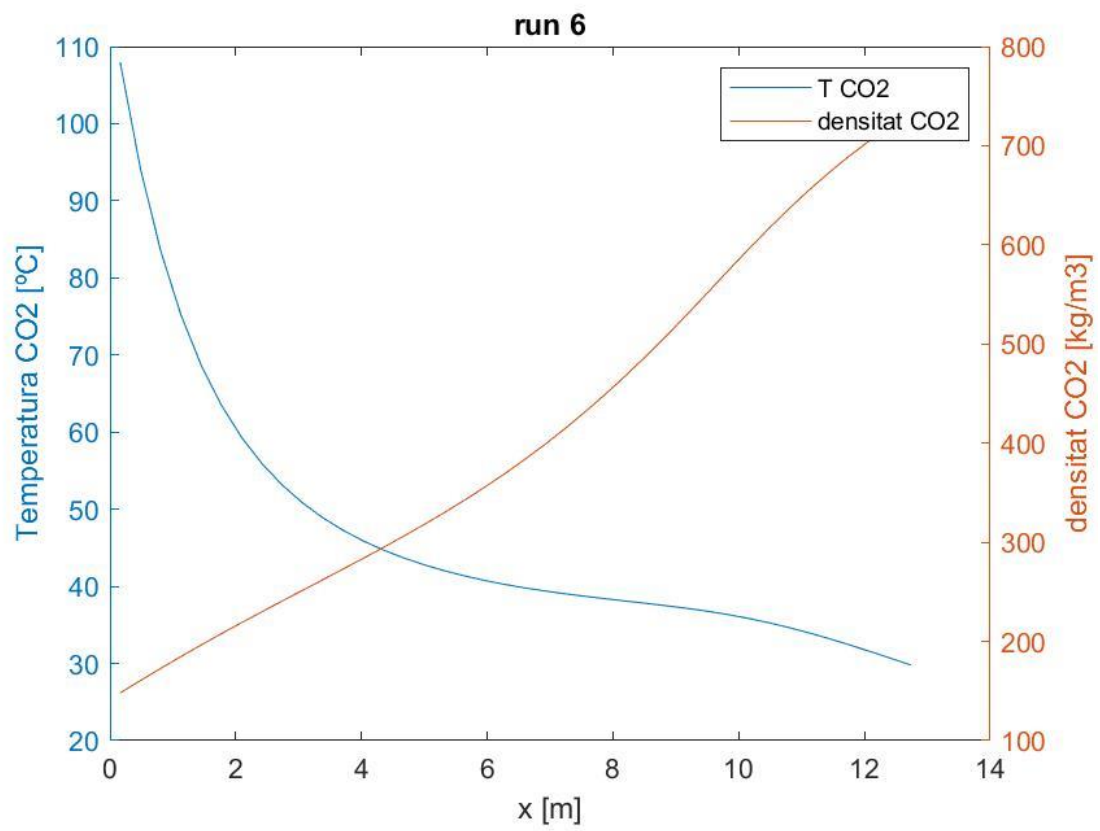
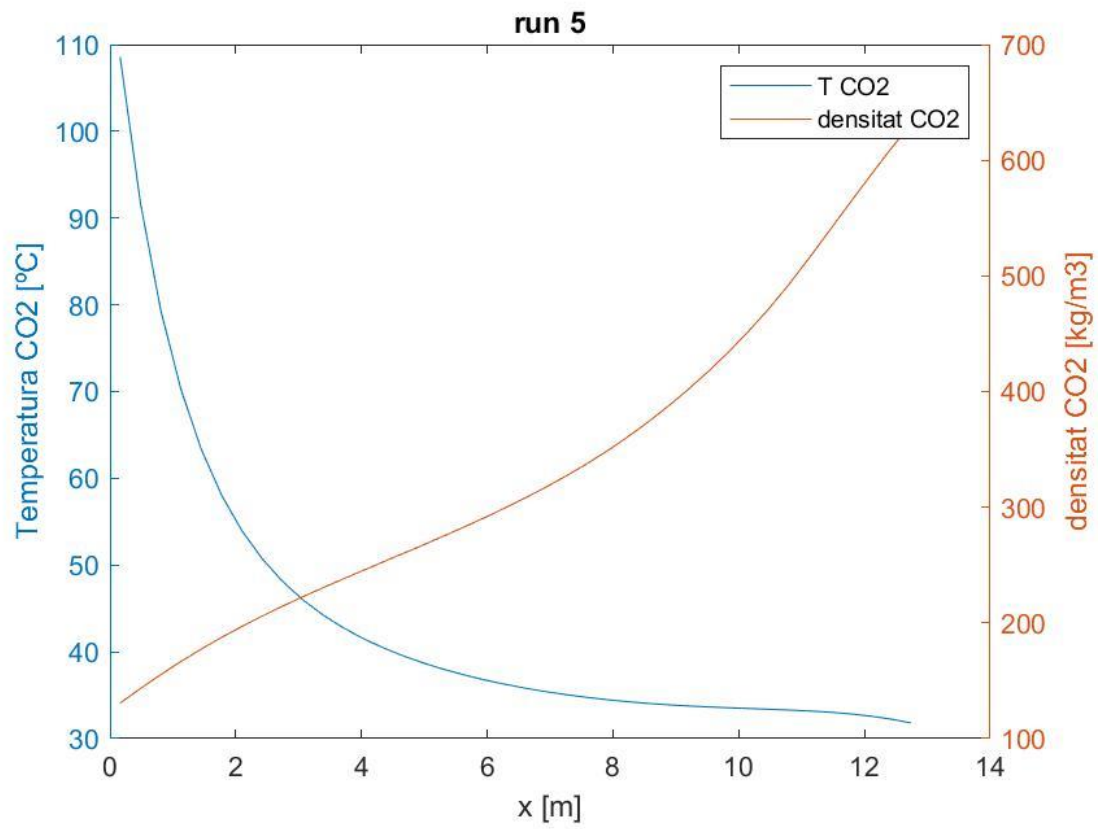


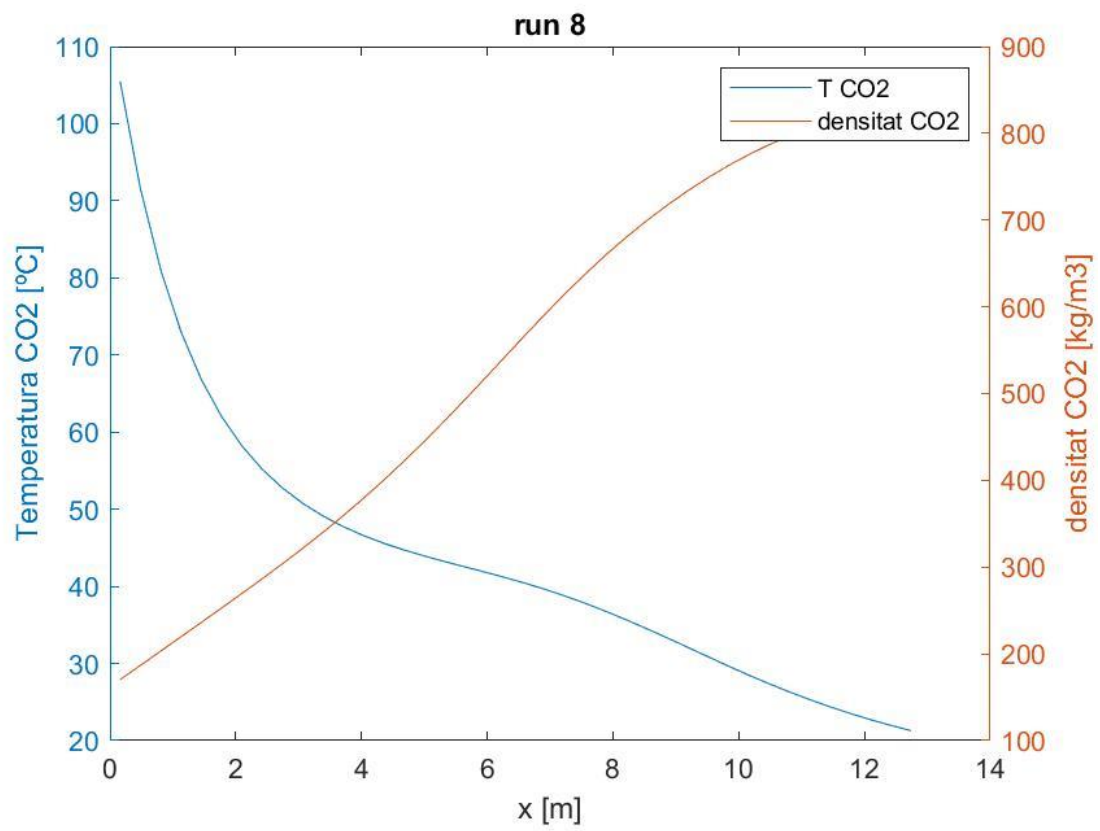
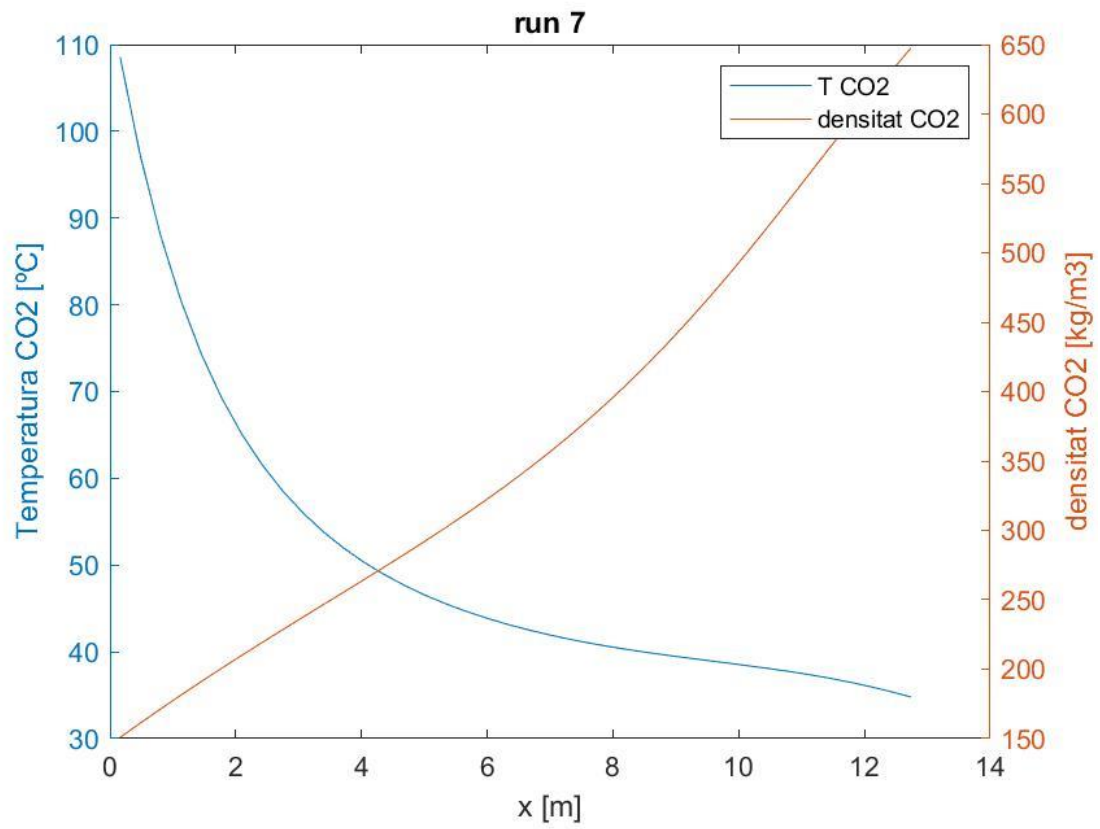
## 2.6. Diagrama de la temperatura i densitat del CO2

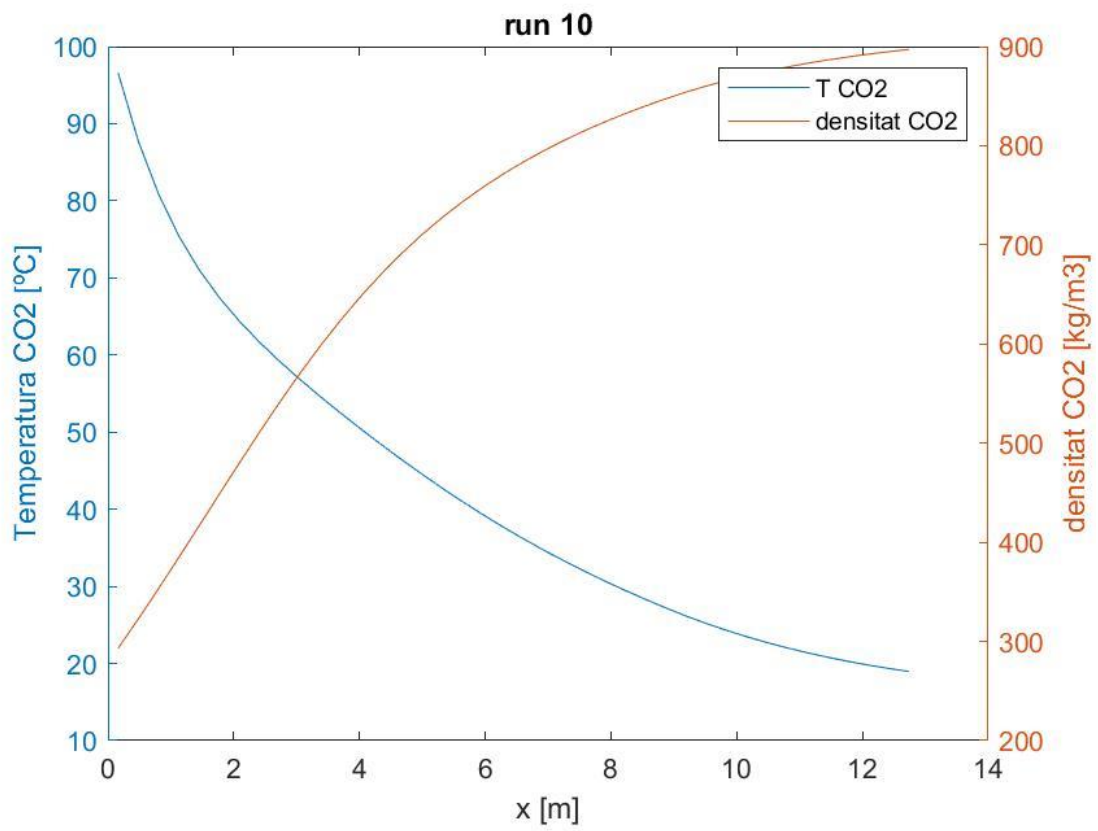
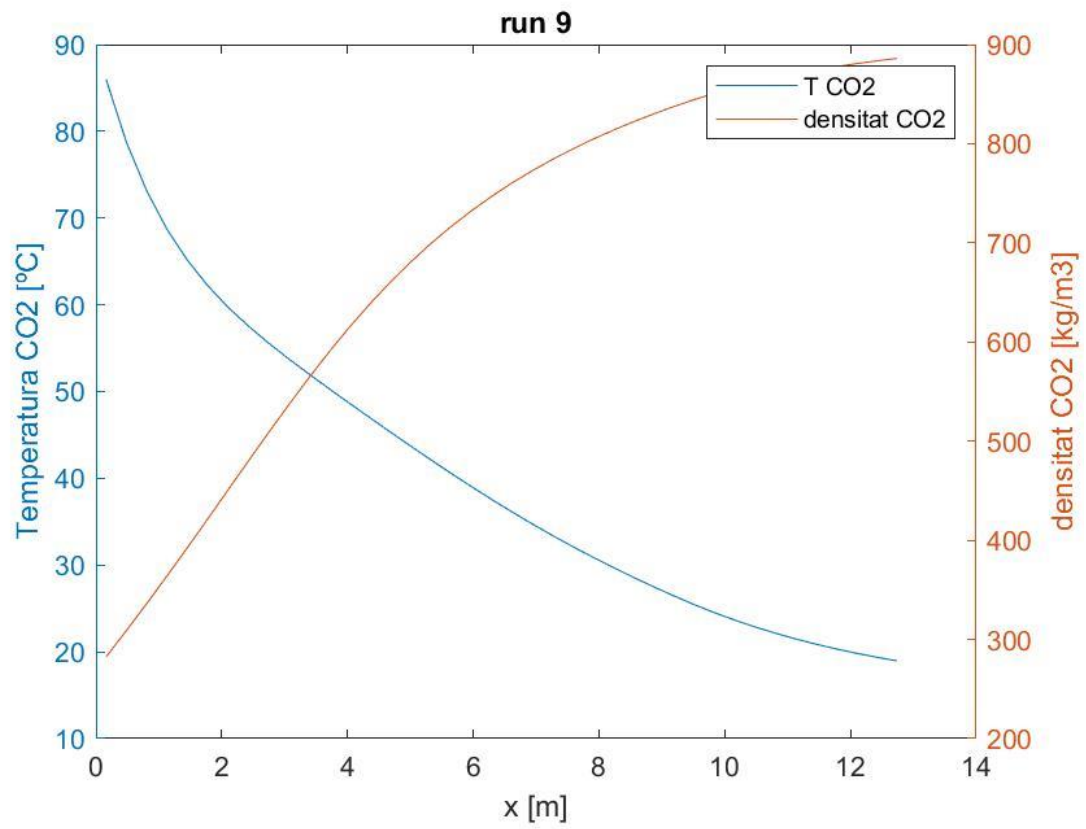




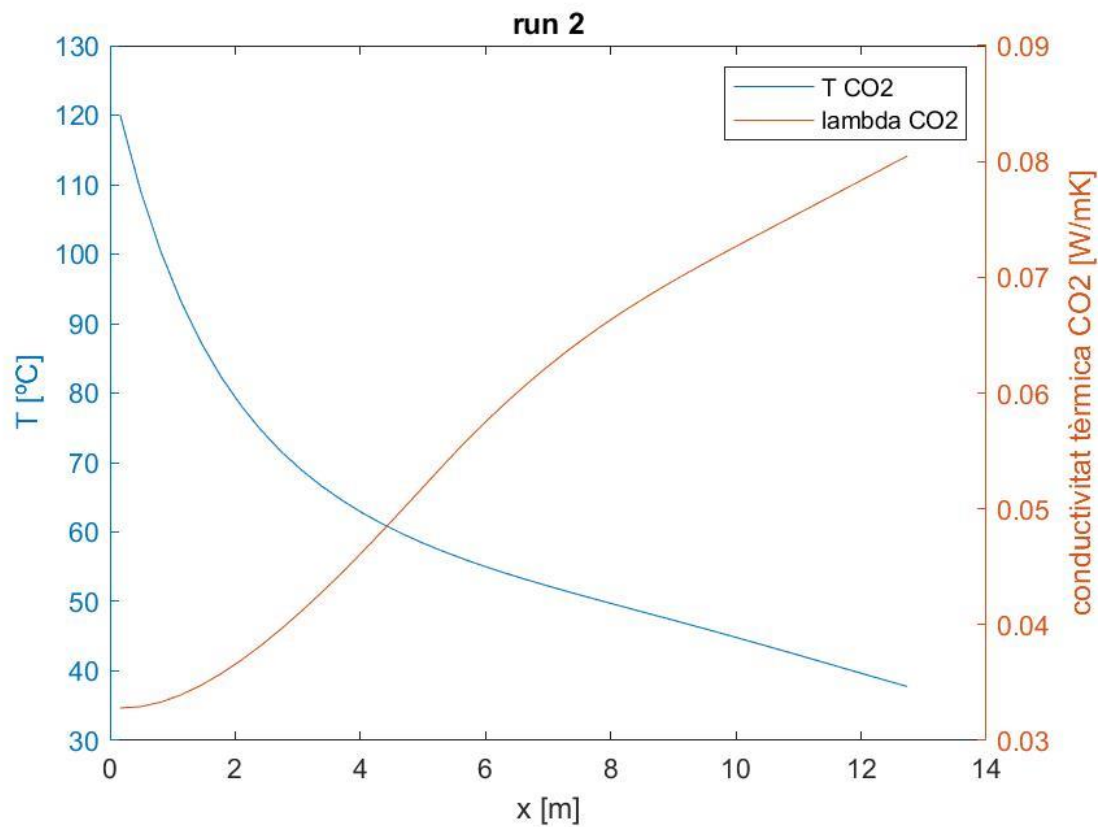
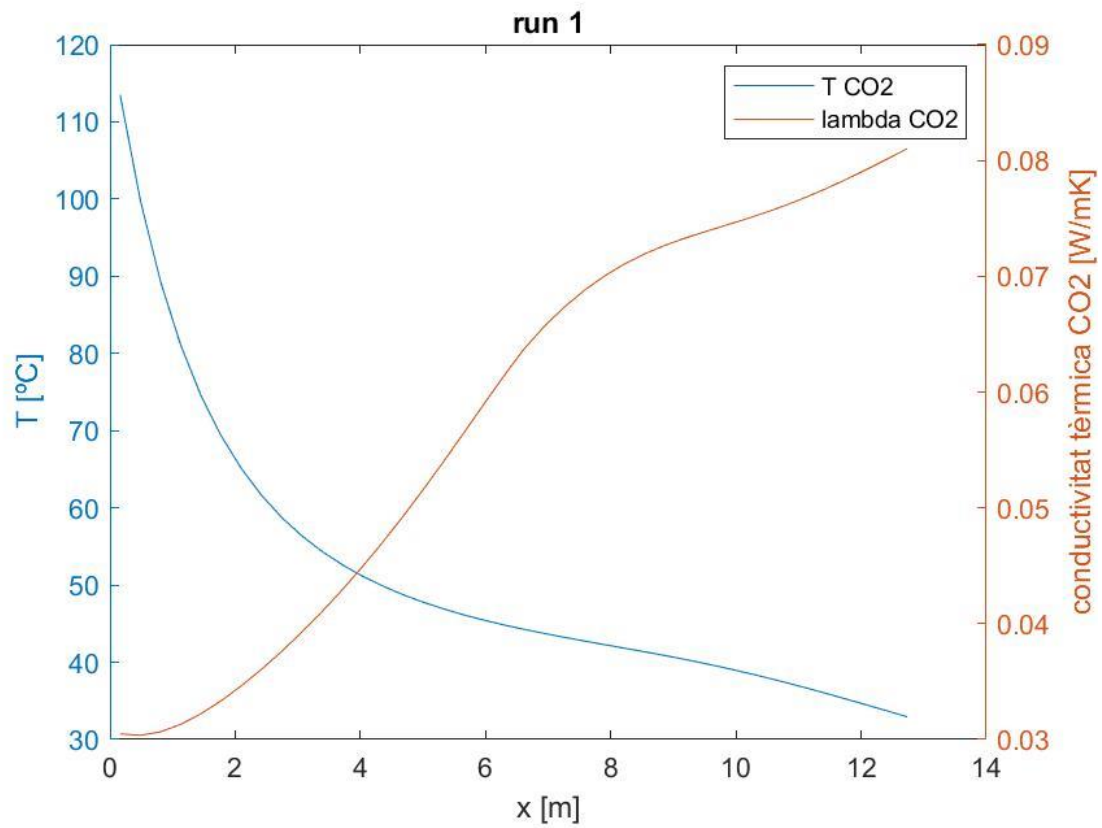


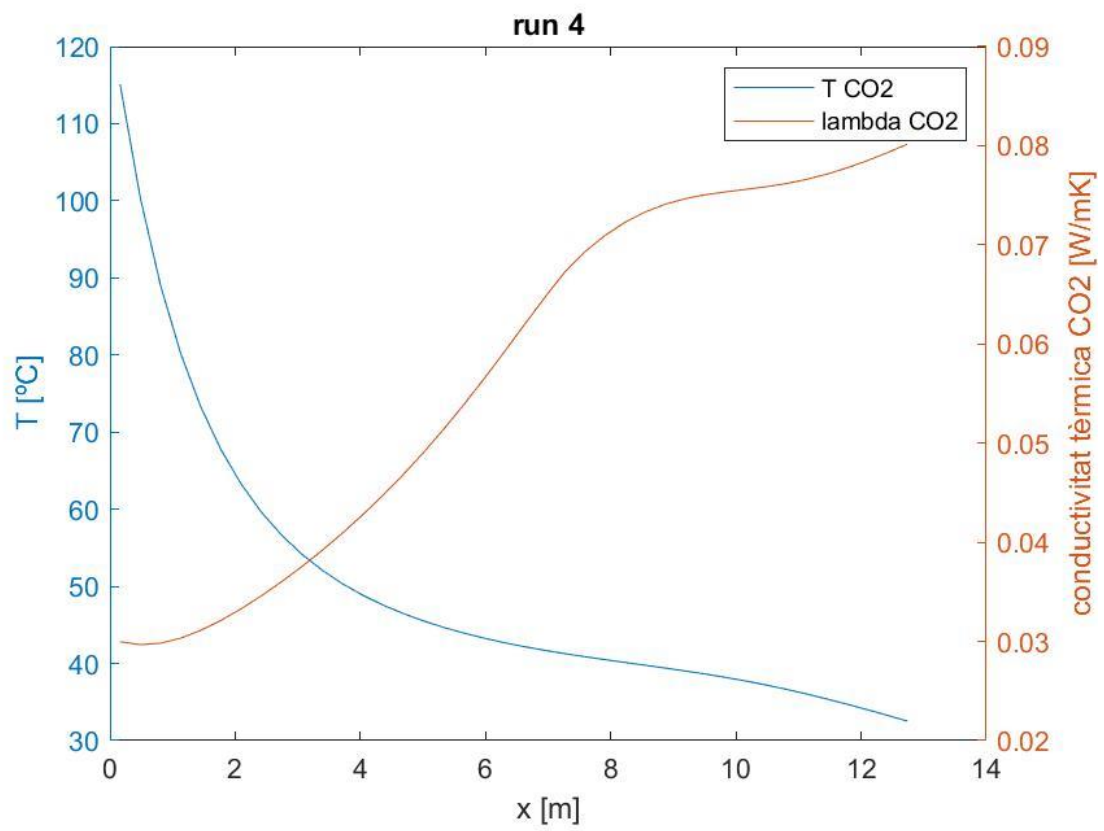
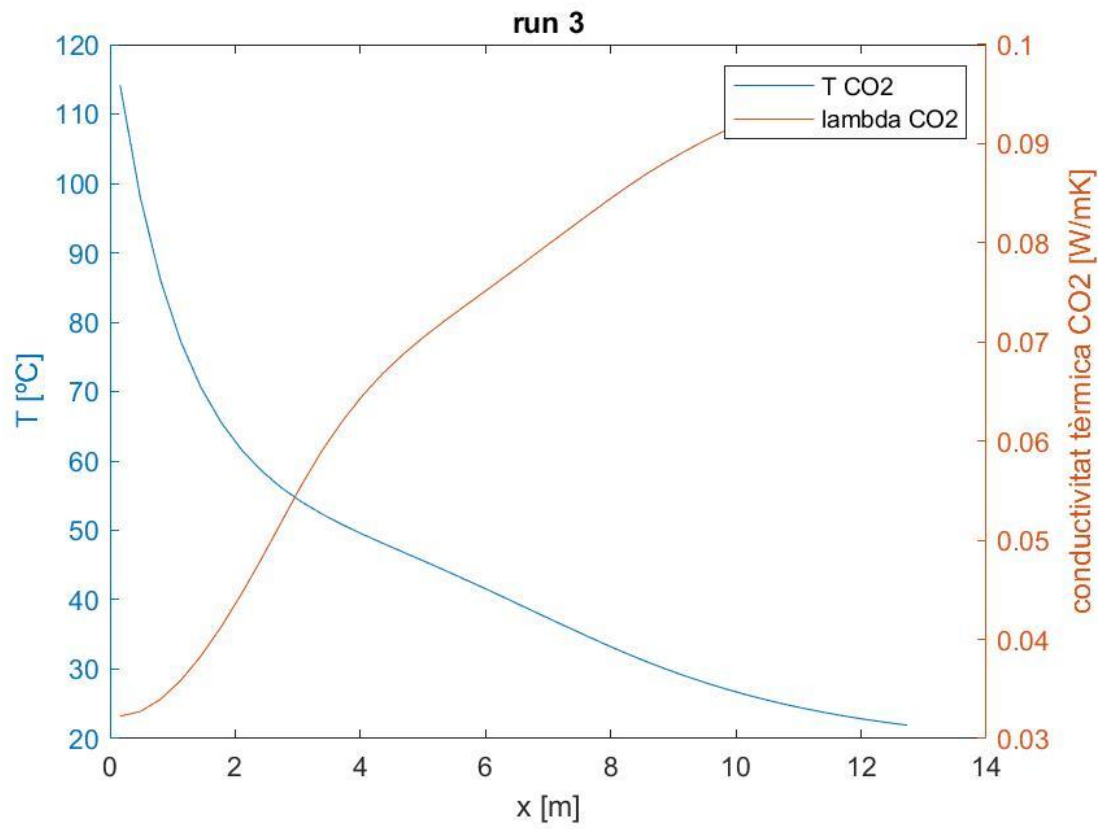


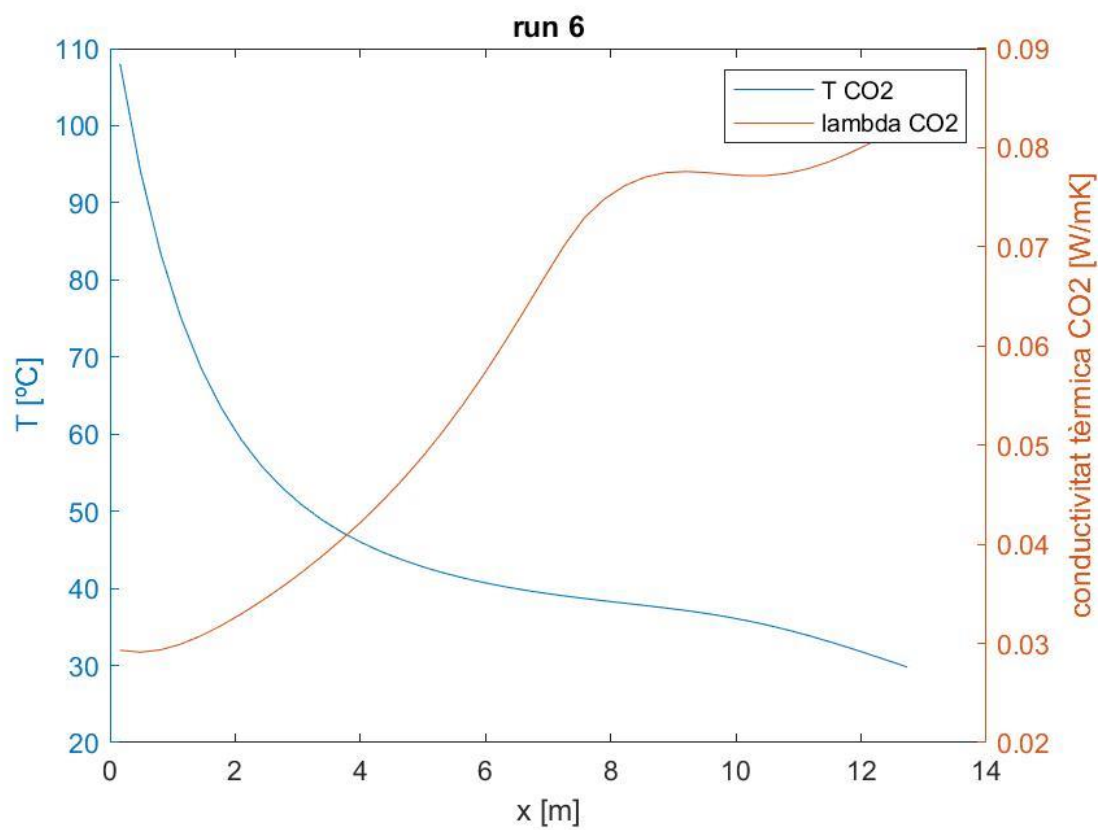
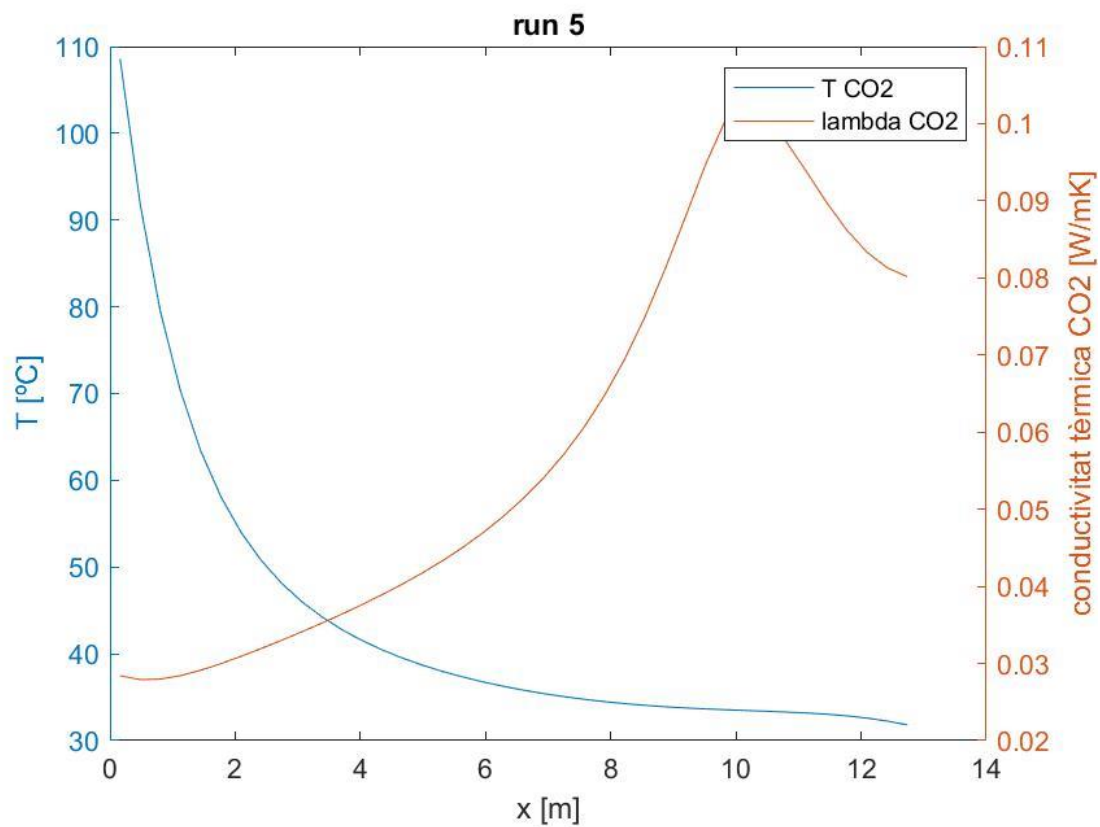




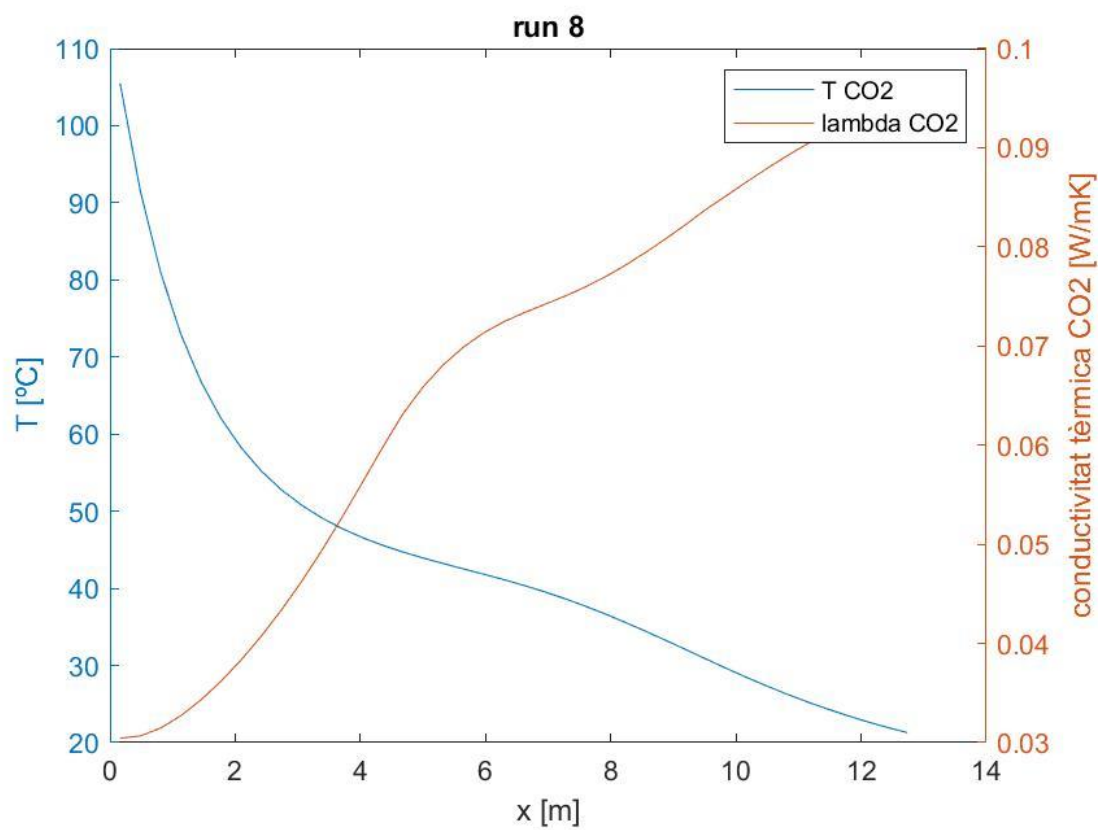
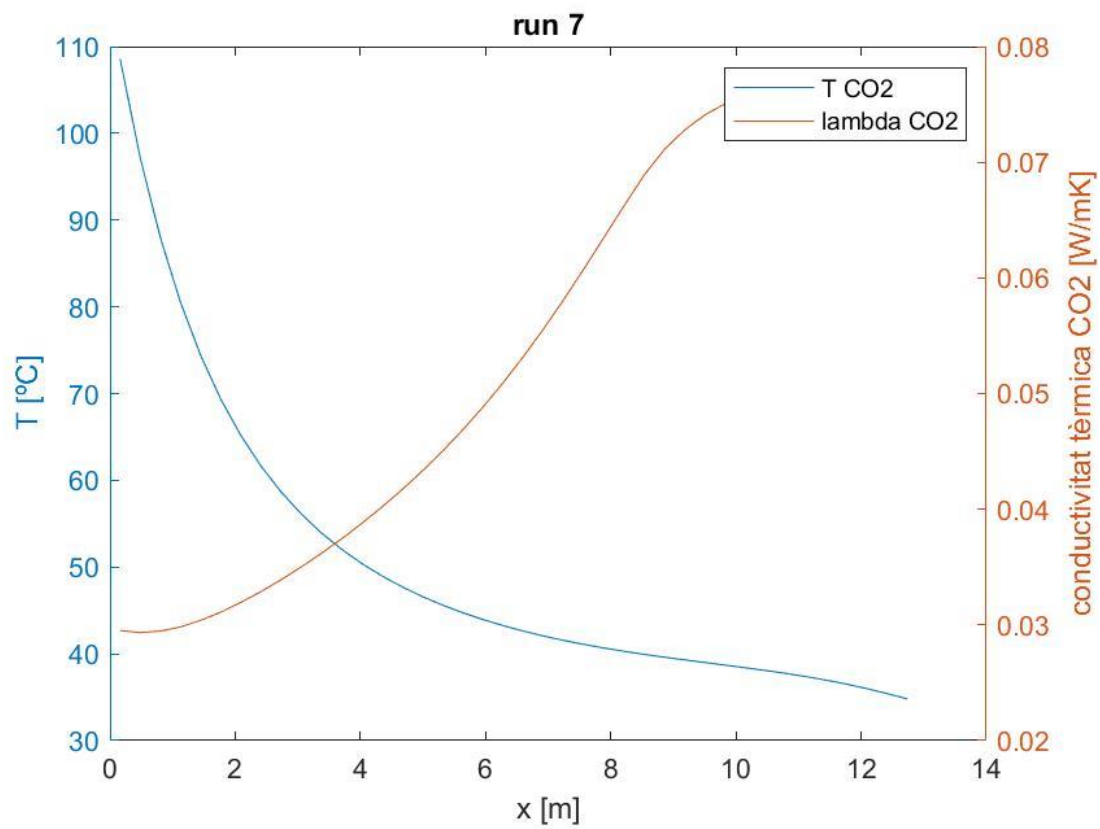
## 2.7. Diagrama de la temperatura i conductivitat tèrmica del CO2



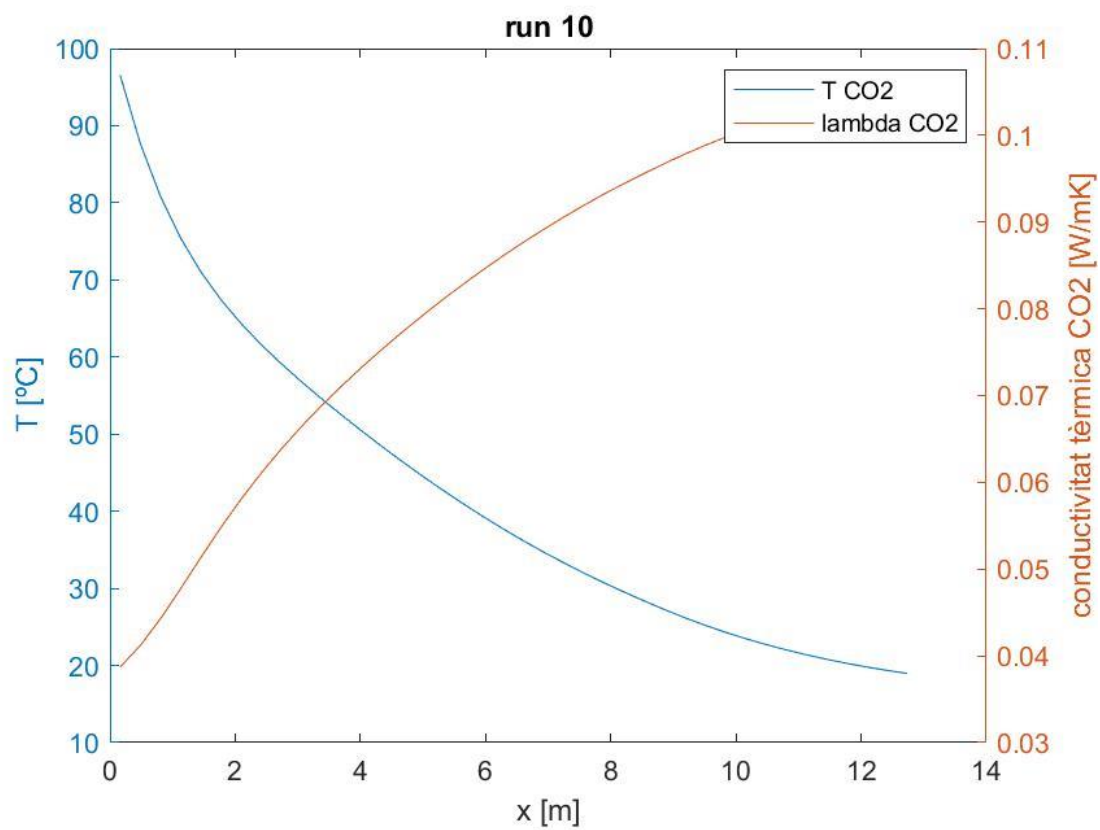
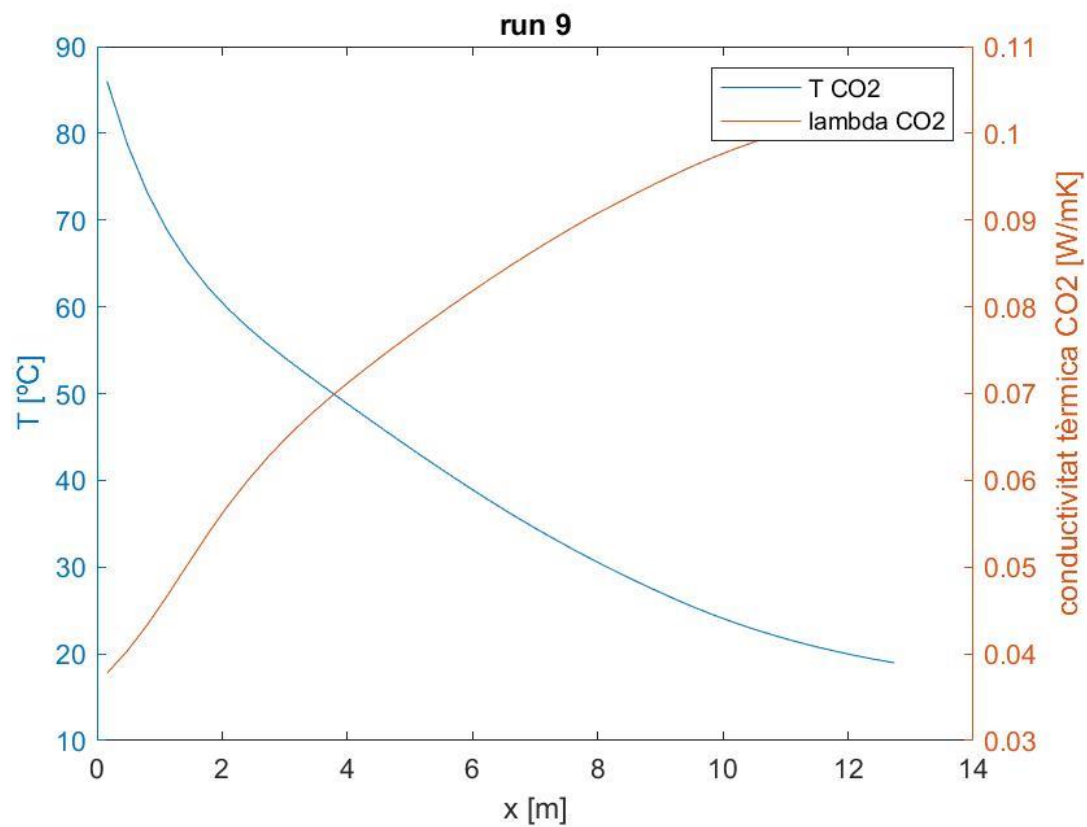












## 2.8. Diagrama de la temperatura i la viscositat tèrmica del CO2

